



# UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA

---

Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias  
División de Ciencias Biológicas  
Departamento de Ciencias Ambientales  
**INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS**

## **Potenciales Relacionados con Eventos como indicadores de Aprendizaje Secuencial**

Tesis  
que para obtener el grado de  
**MAESTRO EN CIENCIA DEL COMPORTAMIENTO  
(ORIENTACIÓN NEUROCIENCIA)**  
presenta

**Nayamin Esther Aceves Ortega**

Comité tutelar

**Dr. Daniel Zarabozo Enríquez de Rivera (Director)**

Dr. Félix Héctor Martínez Sánchez

M. C. Sergio Meneses Ortega

Dr. Humberto Madera Carrillo

Guadalajara, Jalisco

Febrero de 2013

UNIVERSIDAD DE GUADALAJARA  
CENTRO UNIVERSITARIO DE CIENCIAS  
BIOLÓGICAS Y AGROPECUARIAS

INSTITUTO DE NEUROCIENCIAS

COMITÉ DE ÉTICA

DICTAMEN DEL COMITÉ DE ÉTICA AL PROYECTO DE  
INVESTIGACIÓN

Potenciales relacionados con eventos como indicadores de aprendizaje  
secuencial.

CON NÚMERO DE REGISTRO ET042011-101

RESPONSABLE Daniel Zarabozo Enríquez de Rivera

NOMBRE DEL ALUMNO Nayamin Esther Aceves Ortega

APROBADO SIN MODIFICACIONES

RECHAZADO

SUGERENCIAS:

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

*ibí  
nial*

*[Handwritten signature]*

*[Handwritten signature]*

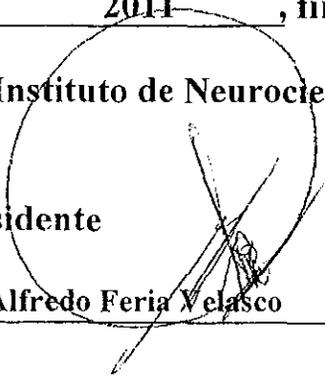
*[Handwritten mark]*

RECHAZADO DEBIDO A: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

En caso de haber sido evaluado con sugerencias, se requiere someter a re-evaluación el proyecto de investigación, en primera instancia, al comité tutelar y posteriormente al Comité de Ética en un lapso máximo de 2 semanas a partir de esta fecha.

Se emite el presente DICTAMEN el día 20 de junio  
de 2011, firmando los integrantes del Comité de Ética  
del Instituto de Neurociencias.

Presidente

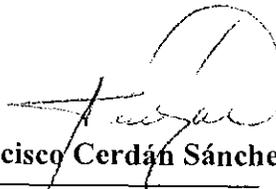
  
Dr. Alfredo Feria Velasco

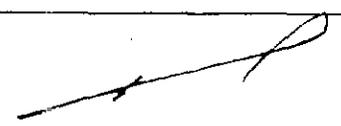
Secretaria

  
Dra. Marisela Hernández González

Vocales:

  
Dr. Jacinto Bañuelos Pineda

  
Dr. Luis Francisco Cerdán Sánchez

  
Dr. Andrés A. González Garrido

  
Dr. Jorge Juárez González

Cep. Comité Tutelar correspondiente.

**A mi madre Esther,**

Por ser el pilar fundamental de todo lo que soy, por toda mi educación, tanto académica, como de la vida, por su incondicional apoyo y cariño perfectamente mantenido a través del tiempo.

*A todos aquellos que quieren hablar aún del hombre, de su reino o de su liberación, a todos aquellos que plantean aún preguntas sobre lo que es el hombre en su esencia, a todos aquellos que quieren partir de él para tener acceso a la verdad, a todos aquellos que en cambio conducen de nuevo todo conocimiento a las verdades del hombre mismo, a todos aquellos que no quieren formalizar sin antropologizar, que no quieren mitologizar sin desmitificar, que no quieren pensar sin pensar también que es el hombre el que piensa, a todas estas formas de reflexión torpes y desviadas no se puede oponer otra cosa que una risa filosófica – es decir, en cierta forma, silenciosa-.*

-Michel Foucault, 1968- Las palabras y las cosas

Agradecimientos.

Le agradezco a mi esposo, Juan Ignacio Peña, por acompañarme durante todo este proceso, por desvelarse conmigo estudiando ofreciéndome una inacabable paciencia y cariño. Por los ánimos que me llevaron a seguir adelante, por estar ahí en mis éxitos y fracasos y por ser mi fiel y audaz compañero en la vida.

Gracias Dr. Daniel Zarabozo, por su invaluable guía y asesoría, por sus ideas, charlas y libros, por haberme brindado la oportunidad de aprender y conocer mucho más de lo que jamás habría imaginado.

Agradezco a mi comité tutorial: el Dr. Humberto Madera, el Dr. Héctor Martínez y el Mtro. Sergio Meneses, por la gran disposición otorgada en el desarrollo de este trabajo, por las recomendaciones y discusiones que enriquecieron la investigación de sobremanera.

A mis compañeros de laboratorio: Minerva Lopez gracias por la enorme amistad, por los abrazos, las sonrisas y la disposición de ayudar en todo momento. Juan Ramiro, gracias por las pláticas filosóficas, los consejos y la confianza. Priscila Berriel, gracias por la sinceridad, por los ratos de ocio, por las risas y por la gran amistad que ahora permanece.

Le agradezco a mis compañeros de generación: Susana Morales, Ángeles Guerrero, Éder Espinoza, Andrés Morales, Ana Camberos, Vanessa Ruiz, Ricardo Romero, Paola Flores, Juan Hernández y Marai Pérez, muchas gracias por su amistad, por todo el apoyo, por los ratos de estudio, por el café, los desayunos, las fiestas y por muchas cosas más que nos hicieron un grupo único.

# RESUMEN

El presente trabajo pretendió describir un proceso de aprendizaje secuencial y relacionar los cambios conductuales progresivos con cambios en la actividad eléctrica cerebral que, proponemos, les son correspondientes.

Para ello empleamos un paradigma denominado Tarea de Tiempo de Reacción Serial (SRTT por sus siglas en inglés) en una muestra de 23 personas adultas. Conductualmente replicamos la ya bien descrita disminución en los tiempos de reacción (TR) conforme los participantes avanzaron en los bloques de estímulos cuyas ubicaciones fueron regidas por una secuencia y la ausencia de esa disminución en los bloques en los que las ubicaciones eran aleatorias. La disminución del TR no se debió a la práctica en la tarea. Esto se demostró cuando los participantes llegaron a un bloque aleatorio intercalado y sus TR volvieron a elevarse. Para la exploración electroencefalográfica utilizamos el registro de Potenciales Relacionados con Eventos (PREs) y encontramos que algunos de los componentes de los PREs fueron cambiando de manera ordenada a lo largo de la tarea. La latencia y el voltaje del componente N100 mostraron una disminución progresiva. El componente P200 aumentó en voltaje progresivamente, sobre todo en regiones frontales y el componente N200 disminuyó su amplitud a través de la sesión.

El componente P300 mostró diferencias entre las personas que fueron consideradas como explícitas o implícitas y presentó un mayor voltaje en las primeras.

Los resultados obtenidos nos muestran cambios conductuales y electrofisiológicos derivados del aprendizaje secuencial. Estos datos se corresponden ya que mientras el TR disminuye la actividad eléctrica cerebral se modifica como se ha podido constatar por los cambios en los PREs. Los componentes encontrados se relacionan con procesos de atención y memoria de tal manera que sugerimos que pueden ser interpretados de la siguiente manera: al ir avanzando en la sesión la atención a los estímulos disminuye debido a que el aprendizaje de la secuencia se va afianzando guiando con mayor exactitud las respuestas del individuo al facilitarle la predicción y preparación para la próxima ubicación del estímulo.

# ABSTRACT

This research was formulated with the purpose of describe and observe the sequence learning process in a simple task and to have the oportunity to relate the behavioral and electrophysiological findings that are generated by this mechanism.

To reach our goal we used a paradigm named Serial Reaction Time Task (SRTT) in a sample of 23 adult participants. Regarding behavioral results we found a reduction in reaction times (RT) as participants responded to blocks of trials in wich stimuli presentation was arranged by a sequence, on the contrary in blocks where stimuli were presented randomly the RTs did not showed any decrease. The effects on RT's weren't due to practice; it was seen in the latencies, wich suffered an increment when the subjects responded to the block where the trials were randomly arranged. For the electroencephalographic exploration the PREs technique was used and we found important results since some of the components show a change along the task.

Voltage and latency for the N100 component diminished throughout the task. Voltage in P200 increased along the experiment particularly in frontal sites. N200 component decreased in amplitude trough the sesion. Concerning the P300 it showed differences between participants considered either as implicits or explicits.

With the results gathered during the task we can see behavioral and electrophysiological changes due to the sequential learning process. This data correspond mutually given that as the RT diminished the electrical activity was changing as we could verify with the gradually change of the PREs. The components we were able to find are related with memory and attention processes in a way that they can be interpreted as follows: as the participant proceeds with the task, the attention towards the stimuli decreases because the learning of the sequence is guiding increasing accuracy the answers of the participant and facilitating the prediction and preparation for the next location of the stimuli.

# ÍNDICE

<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>11</b>
<b>APRENDIZAJE</b>	<b>13</b>
1. APRENDIZAJE SECUENCIAL	19
2. APRENDIZAJE EXPLÍCITO E IMPLÍCITO	24
3. SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES EN EL ESTUDIO DEL APRENDIZAJE	34
4. TAREAS PARA LA EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE SECUENCIAL	37
4.1. PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE IMPLÍCITO Y EXPLÍCITO.	47
5. TIEMPOS DE REACCIÓN	50
<b>NEUROANATOMÍA DEL APRENDIZAJE</b>	<b>53</b>
1. CIRCUITOS IMPLICADOS EN EL PROCESAMIENTO DEL APRENDIZAJE	53
1.1 ESTRUCTURAS BÁSICAS PARA EL APRENDIZAJE	53
1.2 NEUROANATOMÍA DEL CONDICIONAMIENTO CLÁSICO	56
1.3 NEUROANATOMÍA DEL CONDICIONAMIENTO OPERANTE	56
1.4 NEUROANATOMÍA DEL APRENDIZAJE MOTOR	58
1.5 EL SISTEMA DOPAMINÉRGICO EN EL APRENDIZAJE ASOCIATIVO	59
3. APRENDIZAJE SECUENCIAL CON RELACIÓN A LAS ESTRUCTURAS NEURALES	60
<b>MEMORIA</b>	<b>63</b>
1. LA RELACIÓN ENTRE APRENDIZAJE Y MEMORIA	63
2. ESTUDIOS DE LA MEMORIA	64
<b>ELECTROFISIOLOGÍA DEL APRENDIZAJE</b>	<b>71</b>
1. EL ELECTROENCEFALOGRAMA	71
2. POTENCIALES RELACIONADOS CON EVENTOS	72
3. LOS PREs EN EL ESTUDIO DE PROCESOS COGNITIVOS	74
3.1 COMPONENTE C1	77
3.2 COMPONENTE P100	78
3.3 COMPONENTE N100	78
3.4 COMPONENTE P200	79
3.5 COMPONENTE N200	79

3.6 COMPONENTE P300	81
4. LOS PRES EN EL ESTUDIO DE LA MEMORIA Y EL APRENDIZAJE	91
4.1 ESTUDIOS DE APRENDIZAJE SECUENCIAL Y PRES	93
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>97</b>
<b>OBJETIVOS E HIPÓTESIS</b>	<b>99</b>
1. OBJETIVO GENERAL	99
1.1. OBJETIVOS PARTICULARES	99
2. HIPÓTESIS GENERAL	99
2.1. HIPÓTESIS PARTICULARES	100
<b>MÉTODO</b>	<b>101</b>
1. SUJETOS	101
1.1 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	101
2. ESTÍMULOS	101
3. APARATOS	101
4. PROCEDIMIENTO	102
5. PRUEBAS POSTERIORES	104
5.1 PSICOMETRÍA	106
5.1.1 TEST DE MATRICES PROGRESIVAS	106
5.1.2 CLAVES	106
5.1.3 NEUROPSI	107
6. ANÁLISIS DE LOS DATOS	108
<b>RESULTADOS</b>	<b>111</b>
1. RESULTADOS CONDUCTUALES	111
2. RESULTADOS ELECTROFISIOLÓGICOS	117
<b>DISCUSIÓN</b>	<b>137</b>
<b>CONCLUSIONES</b>	<b>149</b>
<b>ANEXOS</b>	<b>151</b>
<b>REFERENCIAS</b>	<b>160</b>

# INTRODUCCIÓN

El aprendizaje secuencial ha sido exhaustivamente estudiado a lo largo de décadas mediante varios procedimientos experimentales, los resultados conductuales obtenidos de estos estudios han enriquecido la investigación sobre el aprendizaje ya que, es debido a la existencia de estos trabajos que se ha podido observar el aprendizaje serial en funcionamiento y se ha constatado que éste se da de forma paulatina. Esto se puede corroborar porque el tiempo de reacción de un sujeto ante un estímulo seriado (constreñido a una aparición secuencial de estímulos) va disminuyendo mientras que la experiencia de ese sujeto con el arreglo serial aumenta.

Aunque las investigaciones en esta área sean numerosas, no se encuentran muchas de ellas en las que las respuestas conductuales de los sujetos sean comparadas con registros electrofisiológicos de procesos que pudiesen corresponder a la generación de esas conductas finales; es por esto que la conjunción de tareas conductuales exhaustivamente analizadas en muy diversas circunstancias y de registros de la actividad eléctrica cerebral durante la ejecución conductual es prometedora. Un ejemplo en este contexto es el trabajo de Ferdinand, Mecklinger & Kray (2008), quienes encontraron que la percepción de errores en particular y el proceso de aprendizaje en general parecen relacionarse con actividad nerviosa en la corteza medial frontal y en la corteza cingulada anterior, implicando la activación de una vía dopaminérgica relacionada con los mecanismos nerviosos asociados con la recompensa.

En la misma línea del trabajo anteriormente mencionado, otros autores (Eimer, Goshchke, Schlaghecken, & Stürner, 1996; Hillyard & Kutas, 1983) se han interesado por la actividad electrofisiológica durante las tareas secuenciales. Sin embargo, hasta el momento no hemos encontrado alguna investigación en la que ese interés haya sido dirigido a describir cómo es que la morfología de los potenciales relacionados con eventos (PREs) se modifica a lo largo de dicha tarea, comparando las formas de los potenciales iniciales con las de los finales. La búsqueda de estos cambios en la actividad eléctrica cerebral es el punto de partida de la presente investigación.



# APRENDIZAJE

El proceso de aprendizaje es complejo y difícil de entender; sabemos que nos acompaña desde el nacimiento e incluso se puede argumentar que existe antes de él. Dentro de nuestros grupos sociales nos desempeñamos de tal o cual forma debido a todas aquellas cosas aprendidas que nos ayudan a movernos en un ambiente cambiante en el cual debemos sobrevivir.

Las teorías y definiciones para el aprendizaje son variadas y han evolucionado con el paso del tiempo y de las investigaciones realizadas en este campo. Algo en lo que la mayoría de estas definiciones están de acuerdo es en que el aprendizaje ya sea un mecanismo, una habilidad o un proceso, es el medio por el cual los seres vivos se desarrollan en su entorno.

Boyer, Destrebecqz, & Cleeremans (1998) definieron aprendizaje como un proceso involucrado con las distintas habilidades cognitivas que el ser humano necesita para moverse en un medio ambiente dinámico. Kandel (2000) tiene una definición parecida y sostiene que “El aprendizaje es el proceso por el que adquirimos el conocimiento sobre el mundo”; la memoria dentro de esta definición en particular tiene un papel básico e ineludible ya que se considera como el proceso mediante el cual se codifica, almacena y recupera la información. En esta visión es importante notar que el estudio del aprendizaje va de la mano con el de la memoria.

El mismo autor diferencia entre dos tipos de aprendizaje: el no asociativo y el asociativo. En el primero están incluidos los procesos de habituación y sensibilización; la característica en común de estos dos procesos es que se refieren al cambio de una respuesta ante la presentación repetida de un mismo estímulo. En la habituación el sujeto se acostumbra a la aparición de cierto estímulo y por lo tanto paulatinamente deja de responder ante él. Por el contrario en la sensibilización el sujeto se ve sobreexcitado por la presencia de un estímulo muy intenso, e incluso puede suceder que un estímulo que antes no generaba una respuesta ahora, después de varias repeticiones de éste, lo haga, a este último proceso se le llama pseudocondicionamiento (Alcaraz, 2001).

Por otra parte, el aprendizaje asociativo puede darse mediante un procedimiento de condicionamiento clásico o uno de condicionamiento operante; una diferencia básica existe entre los dos tipos de condicionamiento: el clásico supone una relación aprendida entre dos estímulos, por otro lado en el operante o instrumental la relación existente es entre el estímulo y el comportamiento (Carlson, 2006; Rachlin, 1976a).

Otro descubrimiento por parte de Pavlov dentro de sus experimentos fue el del reflejo de orientación, usualmente se le refiere como el “¿Qué es esto?”, según el propio Pavlov este reflejo se caracteriza por una respuesta motora ante un estímulo novedoso preparando el sistema sensorial necesario para procesar la información que el estímulo pudiese proveer. Este reflejo fue estudiado más a fondo por E.N. Sokolov, quien dio una visión más amplia al sugerir que para obtener el reflejo de orientación el sistema nervioso necesita de un sistema comparador; de esta manera el reflejo de orientación surge si el sistema comparador logra identificar alguna diferencia entre la información que tiene en el momento y la que ya ha guardado (nuevos componentes o cambios en los anteriores).

Sokolov también hizo distinciones entre el reflejo de orientación y otros reflejos; en el reflejo de orientación están incluidos además de la respuesta motora, los cambios autonómicos y las respuestas electrofisiológicas. Este reflejo es lo primero que ocurre en un organismo cuando se enfrenta a un estímulo novedoso y su función principal es preparar los sentidos para el análisis de este estímulo y acaso el contacto con el mismo. El reflejo de orientación desaparece cuando el estímulo se vuelve común y no marca nuevas relaciones (Alcaraz, 2001; Öhman, Hamm, & Hugdahl, 2000).

La asociación entre eventos en el medio ambiente en relación con la conducta es el condicionamiento operante. El planteamiento inicial de este tipo de aprendizaje fue presentado por Edgar Thorndike en 1898 cuando propuso la Ley del Efecto cuyo principio dicta que la consecuencia de una conducta efectiva es la de aumentar la probabilidad de que en circunstancias similares esa conducta se vuelva a presenta (Rachlin, 1976b).

En relación con el condicionamiento operante, Pavlov creía en que un mismo estímulo podría ser seguido de no sólo una, sino de varias respuestas, aunque no todas a la vez sino una en sustitución de otra; pero si el experimentador escoge una de estas y la

refuerza mediante alguna recompensa esta respuesta será la que con mayor probabilidad seguirá el organismo. Al estímulo y sus posibles respuestas se le llama jerarquía de familia de hábitos. Tanto Pavlov como Thorndike estaban de acuerdo en que la conducta depende de conexiones estímulo-respuesta, pero estas conexiones eran entendidas de manera diferente por cada uno y esto se ve claramente reflejado en las definiciones anteriormente dadas para condicionamiento clásico y operante. Para Pavlov una conexión entre estímulo y respuesta se daba al relacionarse en el tiempo los estímulos incondicionado y condicionado para de esta forma generar una respuesta en el organismo (reforzamiento del reflejo condicionado). Para Thorndike la conexión o el hábito es reforzado en la medida en que la respuesta requerida sea premiada (reforzamiento del hábito), o en otro caso castigada, es decir, si el reforzamiento es negativo como lo podría ser un choque eléctrico, la respuesta se dará por parte del organismo para evitar la aparición de ese reforzamiento (Rachlin, 1976a).

La definición de aprendizaje que juega un papel esencial en el desarrollo del presente estudio es la desarrollada por Domjan (2003). Él lo define como “un cambio en el comportamiento del individuo en respuesta a un estímulo específico, siendo esta respuesta derivada de experiencias anteriores”; así el aprendizaje está formando y modificando de manera continua el comportamiento. Aun cuando la única forma de observar el resultado del aprendizaje sea mediante un cambio en la acción es importante tener en cuenta que aprendizaje y acción no son equivalentes. La relación estrecha entre estos dos conceptos es base para la comprensión del proceso de aprendizaje, y es igualmente básico el discernir entre ellos. Así pues, la acción llevada a cabo por un organismo que aprende de una relación entre estímulos no refleja exclusivamente aprendizaje, sino que puede haber aspectos que no correspondan a este proceso.

Para explicar mejor esto, Domjan ilustra el proceso a través de mecanismos causales que están basados en las cuatro formas de causalidad propuestas por Aristóteles en su libro *Metafísica* (siglo I a.C.). Por la causa eficiente se puede entender el contexto en el que se da el aprendizaje; éste debe tener las condiciones necesarias para un resultado conductual, incluyendo el procedimiento y la experiencia mediante la cual el individuo se

ha entrenado en la respuesta. Las causas eficientes no serían posibles de no ser por las causas materiales, una causa eficiente entendida como un cambio en el sistema neural necesita (a riesgo de parecer redundante) de un cambio en el sistema neural, dichos cambios en el sistema nervioso que producen el aprendizaje son las causas materiales y constan de mecanismos como la migración celular, el establecimiento de sinapsis, la poda, entre otros. Las causas formales toman el rol de los mecanismos del comportamiento, estos constructos teóricos ayudan a modelar hipótesis en el estudio del aprendizaje. La finalidad del aprendizaje, su utilidad y mantenimiento como mecanismo de comportamiento en la lucha por la supervivencia se entiende como la causa final (Domjan, 2003).

La definición de Carlson (2006) dice que “aprendizaje se refiere al proceso mediante el cual las experiencias modifican nuestro sistema nervioso y, por lo tanto, nuestra conducta” (p.205) pero al igual que Kandel le da una gran importancia a la memoria, tanta que sostiene que a los cambios que se realizan se les debe llamar recuerdos, pero no en función de un simple mecanismo de almacén, sino en el de que estas experiencias guardadas son la causa del cambio permanente en el comportamiento que constituye al aprendizaje. Con esta definición de los cambios que equivalen a recuerdos estaría de acuerdo Correa. Ella al igual que Carlson menciona que lo aprendido sólo se mantiene vigente debido a los procesos de memoria; entonces todos los cambios en el organismo se guardan como recuerdos, como “un patrón de actividad de un gran número de neuronas evocado por un estímulo o por una configuración estimular” (Correa, 2007, p.234).

Carlson hace una distinción entre cuatro tipos de aprendizaje: aprendizaje perceptivo, aprendizaje estímulo-respuesta, aprendizaje motor y aprendizaje relacional. En el primer tipo de aprendizaje, el perceptivo, existe la capacidad para recordar un estímulo al que el organismo ya ha sido expuesto con anterioridad y su función es la de identificar y catalogar. Neuralmente, el aprendizaje perceptivo se da en las cortezas asociativas sensoriales. El aprendizaje estímulo-respuesta se basa en las relaciones entre uno o varios estímulos y las reacciones en el organismo receptor. Es dentro de esta

clasificación que entran dos de los tipos de aprendizaje anteriormente revisados: el condicionamiento operante y el clásico. En cuanto a este último la mención por parte de Carlson del principio de Hebb es muy importante ya que por medio de este principio se puede entender un tanto más cómo es que este aprendizaje funciona. Donald Hebb en 1949 propuso lo siguiente: basándose en que el condicionamiento clásico está dado por la relación y posterior respuesta que genera un organismo hacia dos estímulos siendo estos un primer estímulo que por sí mismo genera una respuesta neuronal mínima y un segundo que genera una gran activación, la presentación continua de estos dos estímulos en conjunto ocasionará que “la descarga neural refuerce cualquiera de las sinapsis con la motoneurona que acaban de estar activas”, tras las repeticiones la primera sinapsis toma tal fuerza, que ella por si sola activa la respuesta.

El tercer tipo de aprendizaje propuesto, el motor, implica simplemente la conformación de modificaciones en sistemas motores, se puede decir que se refiere a la facilitación para la ejecución de la respuesta.

El cuarto tipo de aprendizaje, el relacional, equivale al aprendizaje secuencial en el cual esta investigación tiene su base, por lo tanto se discutirá más adelante dentro de este mismo apartado.

En algunas de las definiciones parece haber una equivalencia entre los procesos de aprendizaje y de memoria, es razonable considerar el porqué de esto al observar los sistemas neurales que median estos dos procesos, en estos sistemas se nota cómo muchas de las estructuras involucradas en aprendizaje también tienen un papel activo en la memoria. Thompson (1972) realizó una distinción entre estos dos procesos; “aprendizaje se refiere a la adquisición o desarrollo de nuevas conductas, y la memoria, a la retención o evocación de las conductas aprendidas” (p. 360).

Reber (1993) considera que dado que la memoria y el aprendizaje son procesos íntimamente conectados, es inútil tratar de estudiar uno excluyendo al otro. Para este mismo autor el aprendizaje se basa en un enlazamiento ineludible de varios procesos, percepción, atención y memoria que se unen para dar forma a la aprehensión y relación de información en el ambiente. El estímulo físico sigue una secuencia en la cual primero es

transmitido por receptores hacia un análisis sensorial que construye la percepción y la conciencia, posteriormente se produce un análisis superior en el cual se seleccionan aquellos elementos relevantes y se pueden llegar a atenuar los que no lo son (Mangun & Hillyard, 1990).

Como ha podido constatarse, las teorías sobre el aprendizaje son diversas, y aún así llegan a parecerse bastante. Algo que tienen en común es la consideración de cómo los seres vivos obtienen como ventaja primaria del aprendizaje el poder sobrevivir y desarrollarse de la mejor manera posible con los cambios ajenos a ellos, los cambios en el medio ambiente, esta parte de las definiciones aparece ineludible puesto que es imposible pensar en un organismo que sea capaz de desarrollar un mecanismo de aprendizaje dentro de un sistema que no le exige por medio de cambios.

En la revisión teórica para la realización de este estudio nos hemos topado con numerosas investigaciones que tienen como objeto de estudio el aprendizaje pero que no incluyen definición propia ni ajena de lo que se entiende por aprender; esto llega a crear un hueco en la posible teorización resultante pues sin un marco al que apegarse el aprendizaje puede ser todo lo que el investigador desee, desde un mecanismo de recuperación, un proceso de activación, una forma de adaptación o conexiones entre estímulos y respuestas, puede ser y parece muy probable que la consolidación de una definición satisfactoria para el concepto aprendizaje sea una ardua tarea tal como ya lo planteaba Skinner en 1950 y en función de esta tarea es que este estudio se desarrolla con el fin no sólo de describir hallazgos conductuales y electrofisiológicos, sino también para poder acaso desarrollar conocimientos y teorías.

Dicho lo anterior y con las diferentes definiciones de aprendizaje sobre la mesa, creemos que la propuesta por Domjan es la más adecuada para el desarrollo de esta investigación, haciendo hincapié en que el cambio que se da en el comportamiento no es sólo un proceso de reemplazo sino que probablemente el estudio de este cambio en conjunción con el estudio de los resultados del mismo contengan claves básicas para el mejor entendimiento del aprendizaje.

## **1. APRENDIZAJE SECUENCIAL**

Cuando un sujeto se topa con un estímulo nuevo ante el cual debe activar una respuesta, se encuentra en una situación de potencial aprendizaje. Se ha mostrado en varios experimentos (Baldwin & Kutas, 1997; Boyer, et al., 1998; Deroost & Soetens, 2006; Eimer, et al., 1996; Ferdinand, et al., 2008; Jentzsch, 2004; Kelly, Burton, Riedel, & Lynch, 2003; Nissen & Bullemer, 1987; Willingham, Bullemer, & Nissen, 1989) en los que ante una tarea planeada para que el sujeto emita determinadas respuestas pedidas por el investigador, todas relacionadas con la aparición secuencial y ordenada de estímulos, el hallazgo común es la disminución del tiempo de reacción al estímulo a través de la exposición a la secuencia. Este fenómeno parece surgir del aprendizaje de asociaciones que ayuda a los organismos a distinguir información valiosa en el ambiente de la que no lo es. Esta información valiosa tiene la función de facilitar al sujeto la diferenciación de acontecimientos que podrían llegar a suceder y aquellos que dado el contexto y la situación inmediata del medio son improbables, es posible decir que los organismos superiores “detectan relaciones causales o predictivas entre los estímulos, o entre la conducta y el estímulo.” (Kandel, 2000, pag. 1242). El establecimiento de relaciones es la base para el desarrollo del aprendizaje secuencial.

La teoría para el desarrollo de este concepto en aprendizaje se basa en que todo se puede observar naturalmente como una serie de reglas, pautas y secuencias; es de esta forma que para el ser humano y otros organismos es natural la búsqueda de secuencias lógicas entre eventos en lugar de pensar que éstos aparecen espontáneamente en el tiempo. El procesamiento del lenguaje y su adquisición es una de las funciones humanas que se da por medio del aprendizaje secuencial, los humanos desarrollan el lenguaje desde edades muy tempranas de forma automática no intencionada y el resultado escapa de ser verbalizado en cuanto a su adquisición (Conway & Pisoni, 2008) . La observación de la cadena de respuestas deducida del acercamiento al contexto y de encarar problemas que requieren solución dibuja de manera abstracta el proceso de aprendizaje secuencial; la experimentación por otra parte, se presenta como la única herramienta mediante la cual ese dibujo se puede volver más claro.

Boyer, Destrebecqz, & Cleeremans (1998) proponen que el aprendizaje secuencial es de naturaleza estadística y que involucra mecanismos de asociación predictiva. Esto lo hacen en función de observaciones acerca de qué es lo que las personas aprenden cuando se enfrentan a un ambiente controlado por reglas. Los organismos vivos pueden llegar a aprender acerca de cómo se conforman las reglas que controlan ese ambiente, también pueden llegar simplemente a memorizar entera la secuencia de apariciones, otra opción es que logren abstraer ciertas repeticiones en el contexto pero no toda la secuencia completa, o puede ser que aprendan condiciones (cuando pasa esto suele seguir esto otro) entre un estímulo y lo que le antecede o precede y por último puede ser posible que los sujetos aprendan de características específicas de los estímulos. Según la teoría de la Red Recurrente Simple (SRN por sus siglas en inglés) estos procesos mencionados tienen un núcleo en mecanismos asociativos de aprendizaje que lentamente van desarrollando sensibilidad a las reglas estadísticas de los estímulos (Cleeremans & Jiménez (1998) citado en Boyer et al.(1998)).

Domjan propone que dentro de estas secuencias de aprendizaje, la secuencia de estímulos y respuestas que requiere la resolución de una tarea de SRTT forma una cadena responsiva, ésta consiste en asociaciones de estímulos y respuestas en donde cada respuesta forma un estímulo necesario para la próxima respuesta en la secuencia. Esta creación de cadena responsiva no es aprendizaje por sí misma sino hasta que se aprende algo de la forma en la que están arreglados los estímulos para aparecer en el tiempo, es decir, esta relación E-R debe estar marcada en una mejora en los tiempos de reacción, pero esta mejora no debe simplemente ser por causa de una mayor rapidez con la cual los sujetos responden a la frecuencia de aparición de los estímulos sino que la relación E-R entablada debe responder al discernimiento (sin importar la calificación de implícito o explícito) de la secuencia. (P. J. Reber & Squire, 1994).

Domjan encuentra varias formas de abstraer una secuencia con el fin de aplicarla en beneficio; la primera forma se puede definir como un aprendizaje de asociación de pares, otra forma sería la representación serial completa y por último se encuentra el ordenamiento de los estímulos. No se puede hablar acerca de que una de estas formas

sea mejor que la otra, pero sí habrá ocasiones en las que la elección de una de ellas llevará a una decisión más adecuada por parte del sujeto.

Las investigaciones de aprendizaje secuencial usualmente involucran al individuo en una tarea de predicción; la secuencia utilizada en estas investigaciones está formada por estímulos presentados en un arreglo ideado por el investigador mediante reglas para la aparición de los estímulos, reglas que de ser conocidas y entendidas por el sujeto antes de la exposición a la secuencia lo llevarían a no fallar en sus respuestas. Lo que se ha encontrado usualmente en este tipo de pruebas es que los sujetos con el pasar de los ensayos se van haciendo más sensibles a reconocer (aun de manera inconsciente) la secuencia involucrada, y por lo tanto sus tiempos de reacción se ven disminuidos. Entre los distintos trabajos que han reportado en forma consistente esta situación, puede mencionarse un experimento llevado a cabo por (Deroost & Soetens, 2006) en el cual se puede observar claramente la disminución en los tiempos de reacción conforme las repeticiones de la secuencia pasan. La relación que existe entre los estímulos y el aprendizaje en estas tareas es notoria, ya que al introducir algunos estímulos que no corresponden a la secuencia los tiempos de reacción aumentan notoriamente, mostrando que el individuo estaba siguiendo una lógica secuencial basada en la que el investigador ideó o incluso igual a esta.

No sólo la investigación de Deroost y Soetens (2006) ha demostrado el incremento de tiempo de reacción cuando inesperadamente se retira el orden secuencial de la aparición de los estímulos; este resultado ha sido comprobado en todos aquellos estudios que utilizan tareas de gramática artificial o del tipo SRTT. Un dato importante que se puede extraer de este tipo de manipulaciones es la diferencia entre los bloques que contienen secuencia y aquellos en las que es retirada. Se piensa que el aumento del tiempo de reacción en los bloques aleatorios es generado por un fenómeno de expectativa; es de suponer que aquellos individuos con las mayores medidas de diferencia entre las dos situaciones habrán aprendido y utilizado mejor la secuencia (Robertson, 2007).

Generalmente el participante puede saber cómo es su desempeño en las pruebas, ya que es normal que éstas contengan algún tipo de reforzamiento o retroalimentación, pero ha sido reportado que cuando el participante encuentra la secuencia correcta a seguir deja de conceder importancia a lo que la retroalimentación informe (Ferdinand, et al., 2008). De la misma manera que se ha propuesto que los tiempos de reacción se ven disminuidos por la exposición continua y el desenmascaramiento de la secuencia, se puede suponer que la actividad cerebral relacionada con la selección de la respuesta requerida irá en decremento, lo que podría interpretarse como una relación de a mayor aprendizaje menor activación.

Investigaciones en las que se ha trabajado con aprendizaje secuencial coinciden tanto en que los tiempos de reacción de los sujetos van disminuyendo como en que existen sujetos que son capaces de verbalizar la existencia de una secuencia; personas que notaron y pueden expresar un patrón en la aparición de los estímulos, así como existen otras personas sometidas a las mismas condiciones que no verbalizan ningún hallazgo de este tipo, a estas dos situaciones se les ha denominado generalmente como aprendizaje explícito e implícito.

Las tareas utilizadas para el estudio del aprendizaje secuencial se enmarcan en una situación de elección múltiple en la que el mismo sujeto a través de su desempeño crea relaciones entre estímulos y respuestas, la propia observación del desarrollo de la prueba lleva al individuo a aprender de estas relaciones.

Dentro del estudio del aprendizaje secuencial existen diversos enfoques teóricos sobre el tema, y en muchas ocasiones resulta difícil separar el término secuencial de los términos explícito e implícito.

Perruchet explica que el aprendizaje secuencial tiene sus orígenes y se desarrolla de la siguiente manera: en principio el sujeto al ser expuesto a la regularidad en el ambiente comienza a dividir la información en agrupaciones más pequeñas, dichas unidades han sido seleccionadas mediante la atención dirigida que es moldeada tanto por los antecedentes cognitivos del sujeto como por las particulares características de la estructura que se le presente. Posteriormente estas "unidades sensoriales" son

modificadas con la práctica del sujeto en la tarea y se obtiene una codificación consciente de esas unidades que es utilizada para mejorar el desempeño; este procedimiento se da en automático debido al procesamiento de los estímulos guiados por la atención que activa “mecanismos asociativos inconscientes” (Perruchet & Vinter, 1998) que realizan una correcta partición de la estructura. En un tercer momento las unidades sensoriales desarrolladas se vuelven cada vez más y más independientes de la información sensorial y constituyen representaciones internas conscientes. Al llegar a este nivel se les llama unidades subjetivas y la diferencia con las unidades sensoriales es el nivel de independencia que tienen en relación a la información sensorial entrante, de esta forma las unidades subjetivas formarán el fenómeno consciente y después serán las nuevas guías para la atención y se volverán unidades de alto nivel. La formación de estas unidades que cada vez son más parecidas a la estructura ideal es el proceso responsable de la mejora en el desempeño. Como puede observarse en muchos estudios de aprendizaje secuencial, esta mejora tiene sus bases en el procesamiento consciente (percepción y representación de acuerdo con Perruchet) de los estímulos en el medio debido a la intervención de los ya mencionados mecanismos asociativos inconscientes. Por lo tanto según la teoría desarrollada por Perruchet, el aprendizaje implícito existe de tal forma que constituye la base de la conciencia ya que moldea la percepción y por lo tanto la representación del entorno.

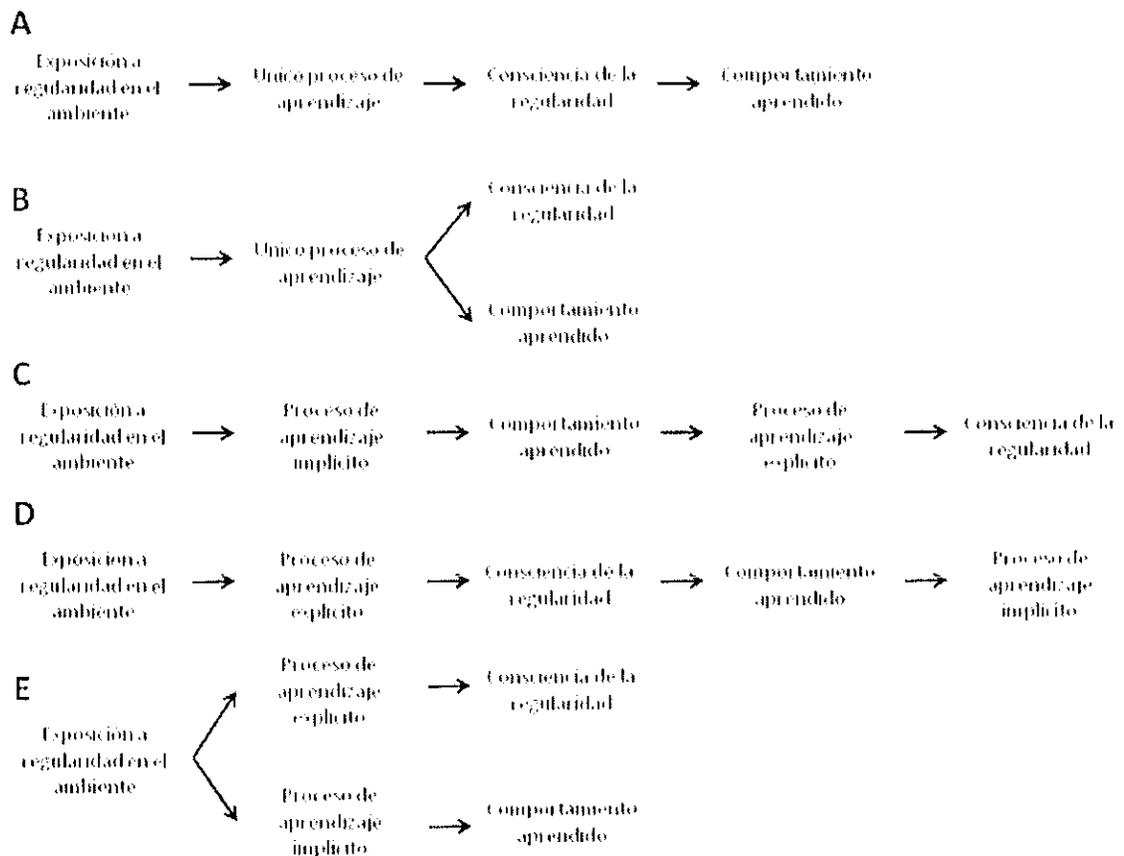
En el aprendizaje secuencial que se produce en las pruebas de gramática artificial y de SRTT así como en las modificaciones de estas se dan según Robertson (2007) dos aprendizajes simultáneamente, uno perceptual y uno motor, aunque mucho se ha especulado sobre que la parte motora es la predominante, no está clara la veracidad de ninguna de las posturas ya que se encuentra el problema de la verbalización pues algunos de los participantes no pueden llegar a verbalizar y otros que si lo pueden hacer de cualquier manera no pueden explicarse completamente. En otros estudios se ha mostrado que puede haber aprendizaje de la simple observación de las regularidades, pero cuando la parte motora entra en acción el aprendizaje resultante no es puramente perceptual

sino que se compone de la regularidad manejada por el sistema motor y aquella del sistema sensorial.

## 2. APRENDIZAJE EXPLÍCITO E IMPLÍCITO

Frensch y Rüniger (2003) propusieron que pueden existir cinco mecanismos en relación al proceso de aprender y llevar a la conciencia lo aprendido (ver Figura1).

En las opciones C, D y E del cuadro los autores postulan las maneras en las que el organismo llega a desarrollar el aprendizaje implícito y el explícito. Plantean que en la interacción del ser con el medio ambiente se podrían involucrar dos mecanismos diferentes para el aprendizaje; aprendizaje implícito y explícito y que cada uno de estos se pueden observar tanto en conducta, como en la conciencia de lo que se aprendió en el caso del aprendizaje explícito.



**Figura 1.** Posibles relaciones entre aprendizaje y conciencia de lo aprendido (Adaptado de Frensch & Rüniger (2003))

En la opción A de la Figura 1, el aprendizaje implícito no tiene lugar, o sería tal vez una forma de automatizar el conocimiento explícito que siempre está presente. Según la opción B el aprendizaje implícito y el explícito conviven; todo el aprendizaje es implícito pero hay algunas cosas que pueden llegar a ser explícitas y otras no. La opción C muestra que el aprendizaje implícito surge directamente de la relación con el sujeto y el ambiente y que ya que se ha aprendido el comportamiento, el organismo puede proseguir al aprendizaje explícito para generar conciencia. La penúltima opción ilustra cómo puede ser que el aprendizaje explícito facilite la aparición del implícito por medio del ejercicio del comportamiento. Esto se puede ver en la forma que se aprende a jugar boliche, un jugador podría, al ser principiante estar muy pendiente de la técnica que utiliza, de calcular sus pasos en cuanto al inicio de la pista, de su inclinación, de su fuerza, etc. Pero conforme acumula experiencia algunos de estos procesos escapan de su escrutinio y los realizará casi sin darse cuenta. Por último, la quinta relación puede darse por dos mecanismos actuando en paralelo, estos dos mecanismos corresponden a los dos tipos de aprendizaje ya revisados y generan cosas distintas, al aprendizaje implícito se le toma como el causante del cambio en la conducta.

Schacter (1992) define el aprendizaje explícito como aquél que puede llegar a ser verbalizado y el cual la persona está consciente de poseer. De acuerdo con su postura, estaría de acuerdo con la quinta opción sugerida por Frensch en la que la forma en la que se da el aprendizaje explícito y el implícito es mediada por dos distintos procedimientos, Schacter sugiere que esto es ocasionado por que la arquitectura funcional neural encargada del aprendizaje se encuentra disociada y puede producir esta dualidad en la percepción de lo aprendido.

Kandel sugiere que respuestas aprendidas pueden incluir recuerdos tanto implícitos como explícitos; una tarea puede empezar haciéndose de tal forma que cada paso dentro del procedimiento para lograrla es realizado con sumo cuidado y conciencia, pero con las repeticiones de esta tarea el proceso se va automatizando y “ya no buscamos de manera consciente y deliberada nuestro recuerdo del hecho.” (Kandel, et al., 2000). Lo anterior aunque no puede ser considerado como una definición de aprendizaje explícito

es una forma de explicar cómo se puede pasar de uno a otro, la forma en la que estos aprendizajes pueden manejarse no como dos procesos opuestos sino como mecanismos necesarios para la optimización de respuestas. Para Kutas (1997) la adquisición de un tipo de aprendizaje u otro depende de la estrategia que el sujeto utilice para responder a la tarea.

Fue en 1965 cuando por primera vez el término aprendizaje implícito fue utilizado por Arthur S. Reber. Él lo caracterizó como un proceso inconsciente generador de un conocimiento abstracto o tácito en el reconocimiento de secuencias. El aprendizaje implícito sería generado por la deducción de la serie en el ambiente de una forma tal que la conciencia de este conocimiento esté ausente (A. S. Reber, 1989).

Reber consideró el uso de gramáticas artificiales como el mejor método para estudiar este tipo de aprendizaje y él fue uno de los pioneros en utilizar esta tarea en un experimento de aprendizaje. En sus experimentos sometía a los participantes a rondas de entrenamiento de la secuencia y después les ponía a contestar una prueba predictiva. En la formación del aprendizaje implícito así como en la del explícito, el papel de la memoria es grande y en el caso del implícito, Reber sugiere que cuando se está formando un aprendizaje implícito el resultado en memoria es abstracto, de esta forma este tipo de aprendizaje no puede ser totalmente explicado por su propietario ya que siempre “se encuentra por delante de la capacidad del sujeto que lo posee” (Reber, 1989, p. 229). Debido a esto se puede pensar que el aprendizaje explícito o el que se puede hacer consciente es apenas una pequeña parte de lo que se contiene en el aprendizaje implícito; aún así el poder poseer aprendizaje explícito debe tener más ventajas de las que bajo esta visión se le pueden atribuir ya que se han mostrado algunos experimentos en los que los sujetos con conocimiento explícito han contestado mejor a la tarea. Reber en su discusión sobre el aprendizaje explícito llega a un punto interesante que es la intuición, se considera que este constructo tiene mucho que ver con cómo se manifiesta el aprendizaje implícito, “el individuo tiene un sentido de lo que está bien o mal, un sentido de la respuesta apropiada o inapropiada para dar en un determinado arreglo de circunstancias, pero es mayormente ignorante de las razones por las cuales tiene ese sentido.” (Westcott, (1968)

citado en Reber, 1989). En pocas palabras, intuición más que un proceso por sí mismo, es el resultado de la experiencia de aprendizaje implícito.

Schacter se refiere al aprendizaje implícito como aquel que es posible expresar conductualmente pero que no se corresponde con ningún indicio de conciencia por parte del sujeto en cuanto a la posesión de éste. El aprendizaje implícito puede señalar la posibilidad de que algunos tipos de memoria sean posibles de evocar aún en la ausencia de un mecanismo consciente de regulación

Reber propone que el desarrollo del aprendizaje implícito ocasiona el inicio del conocimiento explícito (Conway & Pisoni, 2008; P. J. Reber & Squire, 1994). El aprendizaje implícito ha sido descrito como la raíz fundamental para los comportamientos adaptativos en los organismos vivos ya que desde el punto de vista evolutivo se puede decir que la conciencia y el control consciente sobre las acciones debió de haberse construido sobre procesos más básicos que mantenían sus funcionamientos independientes de la conciencia. Dado que el aprendizaje implícito es un procedimiento filogenéticamente más antiguo que el aprendizaje explícito se puede deducir que está más arraigado y es más difícil causar interferencias en él que en el aprendizaje explícito. De la misma manera se puede decir que las diferencias entre las personas evaluadas en aprendizaje implícito serán menores que si se evalúa a varias personas para el aprendizaje explícito. Reber mediante su elaboración teórica sobre el aprendizaje implícito ha listado cinco características que él llama hipotéticas de los sistemas implícitos.

1. Fortaleza: Los procesos implícitos tanto de memoria como de aprendizaje muestran fortaleza ante interrupciones o fallas que puedan comprometer la expresión de lo aprendido o a los sistemas explícitos.
2. Independencia de la edad: A lo largo de la vida las variaciones en los sistemas implícitos será menor que la que se puede encontrar en los sistemas explícitos.
3. Poca variabilidad: De un individuo a otro las diferencias en el procesamiento implícito de la información deben ser mínimas debido a que este proceso es filogenéticamente más antiguo.

4. Independencia de las medidas de inteligencia: Los procesos implícitos tienen poco que ver con las puntuaciones en tests de inteligencia.
5. Procesos comunes: La base sobre la cual se forman los procedimientos implícitos es común entre varias especies de organismos.

Existen dificultades al evaluar los dos tipos de aprendizaje sobre los que se ha venido discutiendo principalmente por la dificultad de dividir claramente lo inconsciente de lo consciente. Se han desarrollado varios métodos de acercamiento a esta problemática a la que se ha llegado a entender más como un problema de evaluación que como una dificultad teórica o epistemológica (Reber, 1993).

El conocimiento adquirido por los individuos tendrá como base una desigualdad que se ha postulado de la siguiente manera:  $\alpha > \beta$ . Donde,  $\alpha$  corresponde a la información disponible para los procesos inconscientes y  $\beta$  es aquella información a la que se puede acceder conscientemente.

Los procesos automáticos son ejemplos del aprendizaje implícito, estos procesos carecen de un control consciente y son iniciados principalmente por eventos y estímulos en el ambiente más que por la propia intención del organismo, aún así son muy eficientes y los recursos atencivos necesarios suelen ser pocos. R. Anderson y sus colegas (1983) realizaron una distinción entre dos procesos de aprendizaje, el declarativo y el de procedimiento, el primero consiste en aquel conocimiento que se está consciente de tener y que además se puede expresar verbalmente. Por otro lado, el aprendizaje de procedimiento se entiende como aquel conocimiento que desemboca en acciones y decisiones pero que esta fuera de la conciencia. Hay una clara equivalencia entre el aprendizaje declarativo y el explícito y el de procedimiento y el implícito. En 2003 se desarrolló una investigación que intentaba probar mediante una tarea SRTT la diferencia de un aprendizaje dado sólo por la observación y otro que surgía de la acción, los investigadores llegaron a la conclusión de que al menos para una tarea con una lógica de segundo orden que tenía que ser observada a la par de una tarea de conteo de tonos, el aprendizaje no surge ni siquiera de manera implícita, mientras que ante las mismas condiciones pero obteniendo respuestas del participante a la tarea era posible calificarlos

con aprendizaje implícito aunque dado que la naturaleza de la gramática de segundo orden era muy difícil no se encontraron sujetos con aprendizaje explícito (Kelly, et al.).

Reber marca una clara diferencia y hace énfasis en la importancia de no confundir el aprendizaje implícito de la memoria implícita ya que mientras que el estudio del aprendizaje implícito se basa en la adquisición del aprendizaje, la memoria implícita es estudiada en base a los procesos de almacén y recuperación del conocimiento.

El mismo Reber asegura aunque si bien hay que diferenciarlos, el pensar que los procesos de aprendizaje, implícito y explícito son totalmente diferentes es una “falacia de polaridad”, de acuerdo con este autor el aprendizaje explícito y el implícito no deben ser tratados como procesos independientes ya que los resultados experimentales obtenidos hasta el momento no dan pie a asumir la existencia de algún punto de separación en dónde un proceso comience y otro termine, el aprendizaje y su subdivisión de implícito y explícito no es la partición de un continuo sino dos procesos paralelos funcionales que se complementan en la tarea de abstraer información del ambiente.

Algunos autores han llegado a ver al aprendizaje implícito como algo sin importancia y más que como un proceso básico ha sido visto como la falla del sujeto en explicar lo que aprendió. Algunos más por el contrario han comenzado a enfocar al proceso implícito como la forma estándar para la adquisición de información compleja en el medio ambiente.

En la investigación la diferenciación entre un modo implícito y uno explícito depende de varios factores como: las circunstancias en las que se dé la adquisición, la conformación de la tarea y las demandas experimentales impuestas por los investigadores. Estas variables determinarán el nivel con el cual se dará el involucramiento de los aprendizajes implícito y explícito. De acuerdo con Reber los estudios que han formado parte nuclear en el desarrollo de teorías acerca del aprendizaje implícito han sido constituidos a partir del siguiente marco de referencia puntual:

1. El proceso implícito de inducción es general y universal.

2. El aprendizaje implícito es un proceso fundamental que opera como base para el desarrollo para el conocimiento tácito (implícito).
3. No existen razones *a priori* para asumir que hay determinantes biológicos en el proceso.
4. Las propiedades del conocimiento tácito desarrollado a partir del aprendizaje implícito surgen como un reflejo de la estructura inherente al ambiente del estímulo.
5. La adquisición implícita del conocimiento es la forma estándar y la que normalmente adoptan los organismos.
6. Cuando los procedimientos son modificados las consideraciones funcionales dictarán el grado con el cual los procesos implícito y explícito serán necesarios. (A. S. Reber, 1993)

En la mayoría de las investigaciones sobre aprendizaje implícito y explícito el hallazgo básico es que los sujetos demuestran conocimiento de reglas y estructuras pero en ausencia de conciencia sobre la posesión de esos datos, aún más, se ha observado que cuando el conjunto de reglas o la estructura son muy difíciles o poco notables, la capacidad de denominar el procedimiento utilizado para la resolución de la tarea se correlaciona negativamente con el desempeño.

Perruchet sugiere que el término aprendizaje implícito para la mayoría de autores investigando el tema se utiliza para hablar de un modelo adaptativo en el cual las personas muestran sensibilidad a la estructura del experimento de tal manera que esa adaptación no surge de manera intencional, es decir que no es dirigida por un mecanismo consciente de los participantes ante esa estructura. Tal como este mismo autor menciona, es difícil encontrar un consenso en cuanto a la definición de aprendizaje implícito, pero en la mayoría de los acercamientos se pueden observar dos componentes, el primero es la sensibilidad desarrollada por el sujeto hacia la estructura presentada y el segundo es la falta de intención para originar esa sensibilidad.

La crítica de Perruchet hacia la manera en la cual se ha tratado el aprendizaje implícito y explícito a lo largo de los años a través de múltiples teorías y muchos experimentos es refrescante, la idea textual es plasmada a continuación:

*“El aprendizaje implícito podría ser pensado como una transición desde las tempranas percepciones y representaciones conscientes hacia otras percepciones y representaciones mejor estructuradas a través de la acción de mecanismos inconscientes.”*

También Perruchet, estipula que, *“Los cambios en la manera en que percibimos, representamos e interactuamos conscientemente con el ambiente son el núcleo del aprendizaje implícito”* (1998)

De acuerdo con este autor lo que sucede en las condiciones experimentales desarrolladas para el estudio del aprendizaje implícito es que los sujetos se vuelven mejores en la tarea conforme la codificación consciente de la secuencia abstraída se vuelve más congruente con la estructura real. Pero de cualquier manera los mecanismos inconscientes o implícitos son los causantes de los cambios en la percepción consciente.

Ya se ha dicho que existen varias teorías en cuanto a cómo aprenden los sujetos de las regularidades, una de ellas es la partición es decir la separación de la estructura mayor en unidades más pequeñas (*Chunks*), este mecanismo parece estar guiado por procesos atencionales limitados, las partes resultantes surgen en principio del reconocimiento de las características más sobresalientes de la estructura, conforme se practica, estas unidades se van modificando de manera que cada vez se parecen más (en conjunto) a la secuencia verdadera, la segmentación se vuelve más precisa en el sentido de que se encamina más a obtener los resultados esperados. Perruchet considera que esta selección de las partes es llevada a cabo por los sujetos por la aplicación de dos principios básicos:

1. La repetición y la práctica son muy importantes para la asociación de estímulos, las relaciones entre estos que más repitan son las que comenzarán a tomarse en cuenta.

2. El refinamiento de las unidades ya obtenidas se obtiene por un proceso conocido como ensombrecimiento (*overshadowing*), el cual evita que otras unidades con cualidades como infrecuencia o competitividad entre ellas, se formen.

Un aspecto importante y poco abordado de las teorías del aprendizaje y en particular del secuencial es cómo se desarrolla éste a lo largo del tiempo, a través de las etapas de vida de un ser vivo por ejemplo en un ser humano. Perruchet ha abordado el tema del aprendizaje en el desarrollo y en su discusión realiza un análisis de las teorías y experimentos de Karmiloff-Smith, de acuerdo con esta autora el aprendizaje del lenguaje en los niños se desarrolla a partir de unas bases innatas en el ser humano para aprender, de esta forma el niño es capaz de dividir el discurso en unidades y teniendo una clara visión de objetos y eventos puede realizar mediante procesos atencionales, las relaciones necesarias para aprender y desarrollar el lenguaje.

Bajo esta visión el aprendizaje se da tempranamente y de manera exponencial durante el desarrollo debido a la predisposición del organismo a encontrar regularidades y a que éstas pueden ser observadas en el medio ambiente; para los niños, por ejemplo, esas regularidades comparten la característica de ser muy novedosas. Mucho de este aprendizaje básico que se da en edades tempranas es inaccesible para realizar una medición directa por lo cual se le puede llamar implícito. Los sistemas sensorial y motor que son básicos para la percepción de los estímulos son también base para el desarrollo del aprendizaje de procedimientos que de acuerdo a algunos autores no requiere que el sujeto que lo posee tenga que acceder conscientemente a lo que ha aprendido, un proceso parecido toma lugar en los experimentos de aprendizaje secuencial como los ya mencionados de Reber y Nissen, en estos paradigmas se obtiene como resultado la mejora en TR y aciertos en los participantes pero la mayoría de ellos son incapaces de verbalizar lo aprendido, una de las teorías de Perruchet es que los sujetos se encuentran en una fase de "mejora del comportamiento" en donde la ejecución se debe a la representación implícito de la relación estímulo-respuesta.

Durante el desarrollo, después de esta etapa inicial según Karmiloff-Smith (Perruchet & Vinter, 1998), surge un proceso propio del organismo al cual se le nombra re-

descripción representacional, este siguiente paso en el desarrollo del aprendizaje es necesario ya que hasta el momento el comportamiento del organismo ante tal o cual estímulo o grupo de estímulos depende directamente de la presentación de estos mismos, por lo tanto es necesario extraer lo aprendido y hacerlo un tanto accesible a la conciencia para que el comportamiento sea manipulable desde el organismo. Aunque el aprendizaje en esta etapa ya no es llamado implícito tampoco se trata de un aprendizaje totalmente explícito ya que aunque el individuo ya tiene más control sobre lo aprendido, aún no es capaz de acceder conscientemente por completo a su conocimiento y tampoco puede verbalizarlo.

Perruchet se apoya de la teoría desarrollada por otro autor llamado Mounoud quien da a la transición de implícito-explícito una explicación dinámica, para Mounoud existen dos sistemas, el práctico y el conceptual. El práctico está constituido por aprendizaje básico e inaccesible a la conciencia. Conceptual se le llama al más reciente y todavía en edificación que al desarrollarse puede llegar a ser invocado conscientemente. Cabe señalar que no se trata de procesos en paralelo sino de la evolución lineal a través del tiempo de uno mismo.

La propuesta de Perruchet es interesante en el sentido que se levanta como una crítica fundamentada a la visión y utilización más usada del aprendizaje implícito, de acuerdo con esta propuesta el aprendizaje implícito va más allá de internalizaciones de un proceso activo de atención, para Perruchet lo implícito va hasta el propio procesamiento, de esta forma tanto el resultado como la manera de obtenerlo están enmarcados en una situación que como ya decía Reber se encuentra más allá de las capacidades del sujeto que los posee.

Algunas percepciones de investigadores les llevan a pensar que aquello que yace en el mundo real es lo que el organismo termina deduciendo (también en base a esto se desarrollan las tareas para evaluar el aprendizaje), cuando realmente el problema que existe en esta etapa es uno de representación mental, esta representación se codifica en cada individuo dependiendo de las operaciones que haya implementado por lo que el resultado final puede no concordar por completo con la estructura original.

Observando los experimentos que han acuñado el término aprendizaje implícito se puede decir que la estructura que el participante adquiere es una que representa semejanza con el arreglo de estímulos original. Este proceso se logra de manera natural cuando simplemente se atiende a la variación constante en el ambiente. El producto final del aprendizaje implícito será el conocimiento tácito que aunque no se pueda decir que sea completamente inconsciente se puede pensar que la maquinaria interna por medio de la cual se obtuvo es más sofisticada y difícil de explicar o verbalizar y conforme los sujetos mejoran su habilidad de verbalizar las reglas que desarrollaron esas mismas reglas irán mejorando, por lo tanto el conocimiento implícito siempre irá delante del explícito.

De acuerdo con Schacter, se debe tener precaución con las conclusiones que se puedan desarrollar al obtener información acerca de la habilidad de ciertos sujetos de manejar conscientemente o verbalizar sus conocimientos, es importante notar que aunque el sujeto tenga la habilidad de después de la tarea reportar su aprendizaje esto no indica que sea consciente de los mecanismos y estrategias que utilizó durante la tarea.

### **3. SOBRE LOS PROCEDIMIENTOS EXPERIMENTALES EN EL ESTUDIO DEL APRENDIZAJE**

En la investigación sobre lo implícito y lo explícito abarcando sus diferencias y similitudes se han utilizado variadas técnicas que enfrentan al sujeto con un conjunto de estímulos enmarcados en un ambiente contralado por reglas y estructuras, en estas técnicas el aprendizaje del sujeto acerca de aquello a lo que es enfrentado es necesario para el éxito en determinada tarea, siguiendo este básico esquema se han utilizado múltiples variaciones experimentales, de acuerdo con Reber para poder observar un proceso como el aprendizaje implícito, los estímulos y la forma en que éstos se presentan deben contener las siguientes propiedades:

1. El estímulo debe ser novedoso, la estructura que gobierna los estímulos no debe ser algo previamente contenido en el conocimiento del sujeto.

2. El sistema de reglas que controla al estímulo debe ser complejo ya que si se enfrenta al sujeto a un código simple que pueda ser desenmascarado por los esfuerzos conscientes no se podrá ver el aprendizaje implícito.
3. El estímulo utilizado debe, en medida de lo posible, ser falto de significado y emocionalmente neutral. Esto se debe intentar para en medida de lo posible disminuir las variables extrañas que el estímulo pueda provocar en el sujeto.
4. El estímulo debe ser sintético y arbitrario.

Utilizando estas reglas para crear el procedimiento, se generará un ambiente en el cual los sujetos ganarán conocimiento acerca del sistema de reglas que definen el ambiente y la aparición de los estímulos a los que son enfrentados con lo cual obtendrán control sobre la prueba pero se mantendrán lejos de poder explicar la manera en la cual lograron tener éxito en la tarea.

En el estudio del aprendizaje explícito se han utilizado principalmente dos tipos de tareas, el aprendizaje de gramáticas y el aprendizaje de probabilidades.

Para el aprendizaje de gramáticas la base es una construcción de reglas como la que se muestra en la figura 2, partiendo de estas determinantes el estímulo elegido toma diferentes rutas en cada ensayo y el aprendizaje del sujeto es acerca de las reglas subyacentes al comportamiento del estímulo. Ha sido demostrado que el aprendizaje de las secuencias generadas por la gramática artificial puede ser transferible entre modalidades sensoriales (Conway & Pisoni, 2008).

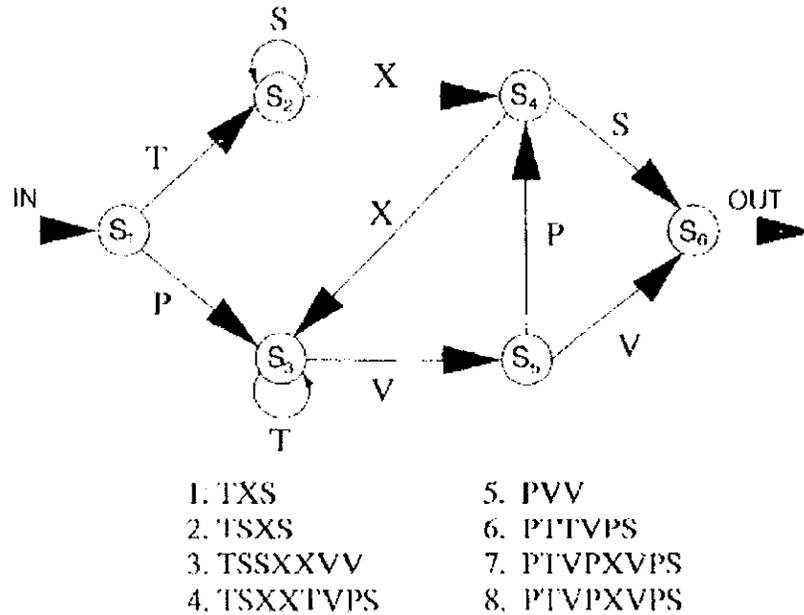


Figura 2. Gramática artificial utilizada por Reber en 1965 y algunos de los ejemplos de las líneas que con ésta se pueden generar

En el aprendizaje de probabilidades los sujetos aprenden de un diseño experimental en el cual son enfrentados a la probabilidad con la cual, por ejemplo, se encenderán una de dos luces, ante esto los participantes deben predecir cuál de las luces se encenderá a continuación, las probabilidades ya han sido de antemano estipuladas por el experimentador y lo que se logra observar es que a lo largo del experimento los sujetos se vuelven mejores en “predecir” cuál de las luces se encenderá, por lo tanto los participantes han aprendido de la estructura básica y son capaces de utilizar ese conocimiento en su toma de decisiones. De los múltiples experimentos que se han realizado utilizando esta técnica se puede destacar un elemento básico del aprendizaje implícito; el conocimiento que se genera de este aprendizaje provoca un desempeño que va más allá del que se podría esperar con predicciones conscientes.

En algunos estudios se ha abordado el tema de lo implícito y lo explícito desde otra perspectiva metodológica. En lugar de exponer a los sujetos a una tarea para la cual no tenían información acerca de la naturaleza de la aparición de los estímulos, se optó por enfrentar a los participantes a la tarea pero dándoles información acerca de la organización no aleatoria de los estímulos, en muchos de los casos, esta instrucción fue

contraproducente para la solución de la tarea, algunos de los sujetos en estas condiciones experimentales, mostraron evidencia de haber llegado a conclusiones erróneas, creando reglas que no concordaban con las que realmente regían el entorno sintético. En estos experimentos las instrucciones explícitas funcionaron como interferencia, aunque puede ser que parte de éste efecto sea inherente a la naturaleza del experimento y a la manera en que se dieron las instrucciones, de igual forma puede que el momento en que se dé la información dentro de la prueba sea un factor importante para que al sujeto le pueda ser de utilidad la información o sólo le estorbe. Reber llega a una conclusión acerca de estos resultados: *“Buscar las reglas no funciona si al final no se logró encontrarlas.”* (A. S. Reber, 1993) En algunos otros experimentos sí se ha encontrado una facilitación en la tarea al proveer al individuo de una instrucción explícita, en estas investigaciones las tareas utilizadas para generar el aprendizaje estaban formadas de tal manera que había aspectos sobresalientes de la gramática o de la secuencia que facilitaban la utilización de las instrucciones explícitas, de esta manera los sujetos buscaban las reglas y eran capaces de encontrarlas. Es también importante considerar que al proveer de información explícita a los sujetos se introducen otras variables como estrés, ansiedad o motivación, estas variables conjuntamente con las condiciones experimentales son las que determinarán si la información explícita ha sido de provecho.

#### **4. TAREAS PARA LA EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE SECUENCIAL**

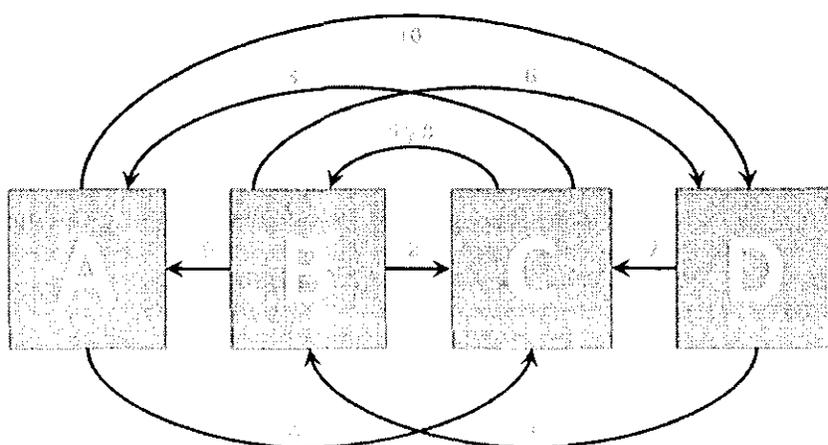
El primer investigador en utilizar una tarea de gramática artificial para el estudio del aprendizaje fue Reber, pero la forma en que los sujetos de estas investigaciones participaban y respondían ante la prueba no tomaba en cuenta los tiempos de reacción, esto ocurrió hasta 1987 cuando Nissen y Bullemer idearon una tarea basada en las gramáticas artificiales pero con otra forma de respuesta, este diseño experimental se ha convertido en la tarea básica de muchos estudios sobre aprendizaje.

El trabajo de Nissen y Bullemer (1987) y la tarea diseñada por estos autores ha constituido la base para muchos otros trabajos posteriores y se describe a continuación. La pregunta básica de este experimento es si las medidas de desempeño pueden mostrar

dependencia a los niveles de atención para esto desarrollaron cuatro experimentos cada uno con variantes importantes pero que comparten entre ellos la misma tarea base. En dicha tarea el estímulo único en cada ensayo fue un asterisco de 0.35 cm de diámetro. Este estímulo podía aparecer en una de cuatro ubicaciones separadas horizontalmente por 2.9 cm en la pantalla de una computadora, todas ellas ubicadas a 5.5 cm arriba del borde inferior de la pantalla. La luminosidad del estímulo era “claramente supraumbral” y las cuatro posiciones fueron “fácilmente discriminables”. En cada ensayo la respuesta se emitía oprimiendo una de cuatro teclas (correspondientes al 3 al 5 al 7 o al 9), en correspondencia con las cuatro posiciones (de izquierda a derecha) en las que podía aparecer el estímulo. Denominando A, B, C y D a las cuatro posibles posiciones de izquierda a derecha, la secuencia de aparición del estímulo fue D-B-C-A-C-B-D-C-B-A, (ver Figura 3) presentada sin transición en diez ocasiones, en cada uno de diez bloques, para un total de 100 ensayos en total. Si se cometía un error en la respuesta el error era marcado pero el estímulo permanecía en la pantalla hasta que el participante presionara la tecla correcta. Después de la respuesta el estímulo desaparecía y otro le seguía después de una espera de 500 ms. No existió retroalimentación en cuanto al tiempo de reacción.

En el primer experimento llevado a cabo por Nissen y Bullemer existieron dos condiciones, una en donde el grupo participante cumplía con el seguimiento de la tarea y los estímulos eran presentados según la secuencia, y otro en donde a otro grupo de personas les eran presentados los estímulos pero de manera aleatoria, sin ninguna serie establecida. La respuesta de los participantes era presionar con la mayor rapidez posible una de cuatro posibles teclas (3, 5, 7 ó 9) que correspondían con las cuatro posiciones posibles para estímulo. Nissen y Bullemer también realizaron otros tres experimentos como modificaciones al original, en el segundo experimento se formaron dos grupos, en el primer grupo los sujetos tenían que responder de igual manera a la aparición de los estímulos generados con la secuencia, pero al mismo tiempo tenían que atender a otra tarea que consistía en dos tonos que se repetían, uno de ellos era bajo y otro era alto, ellos tenían que contar el número de veces que el tono bajo se generaba. El otro grupo tenía la misma encomienda, la diferencia era que no había secuencia para la generación

de los estímulos visuales. En el tercer experimento dos grupos formados tenían la misma tarea en la primera fase; contestar lo más rápido posible a la secuencia de estímulos y contar lo tonos bajos, en una segunda fase se les retiraban los estímulos auditivos y el primer grupo tenía que seguir contestando a la secuencia mientras que el segundo contestaba a la aparición de los estímulos de manera aleatoria. Por último Nissen y Bullemer probaron su tarea en pacientes con síndrome de Korsakoff y un grupo control, la modificación a la tarea consistió en cuatro bloques con 100 pruebas cada uno seguidos de otros cuatro bloques con los estímulos aleatorizados.



**Figura 3.** Secuencia para la aparición de los estímulos utilizada por Nissen y Bullemer en 1987

En general encontraron disminución de los tiempos de reacción en todas aquellas situaciones en las que los estímulos visuales eran presentados por medio de una secuencia, ante los mismos estímulos presentados de manera aleatoria no consiguieron disminuciones en el tiempo de reacción aún cuando se daban 8 bloques de práctica. En la condición en la que los sujetos tenían que hacer un conteo de tonos además de contestar a la tarea secuencial sí fue posible observar un decremento en TR, pero este fue mucho menor que el encontrado en la tarea sencilla. Dados los resultados en sus experimentos Nissen y Bullemer llegaron a la conclusión de que las medidas de desempeño del aprendizaje secuencial son en gran medida dependientes del procesamiento atencional.

La tarea puede ser fácilmente moldeable, al modificar el experimento se modifica por lo tanto la forma en la que el individuo aprende de la situación, sus estrategias se ven modificadas y comparaciones y correlaciones pueden ser hechas. El modelo general de los

experimentos en aprendizaje serial está basado en la creación de una secuencia de estímulos que se suceden en el tiempo de acuerdo con ciertas reglas. Una tarea estímulo – respuesta (E-R) requiere que el organismo mantenga activamente aquellas características contextuales básicas para obtener un buen resultado conductual, esas características se componen por la percepción sensorial, por las respuestas que se van dando y por las experiencias anteriores que se consideren relevantes para la situación (Boettiger & D'Esposito, 2004). El modelo SRTT es un tipo de tarea E-R y usualmente consiste en responder lo más rápido posible a la presentación de cada estímulo presionando una tecla correspondiente tal como se puede observar en la descripción de la tarea original utilizada por Nissen y Bullemer, en general se le presentan al organismo una serie de eventos sucedidos en el tiempo que guardan entre sí una relación y organización que incide en el comportamiento cuando el organismo es capaz de formar las asociaciones entre los estímulos para predecir al siguiente y anticipar la respuesta (Robertson, 2007). A partir del estudio de Nissen y Bullemer diferentes autores han modificado el modelo de distintas maneras para ajustarlo a las necesidades de sus investigaciones. Dentro del área del aprendizaje serial lo que más se ha estudiado es la diferencia que puede existir entre el conocimiento implícito y el explícito. Muchas de las modificaciones a la tarea original (Nissen & Bullemer, 1987) han sido realizadas para aclarar la diferencia o para comparar estos dos tipos de aprendizaje.

Así, en la literatura existente es posible encontrar tareas con una base muy parecida a la tarea original, pero que pueden variar en cuanto a las instrucciones que se dan al sujeto al comenzar la prueba, es decir si se le informa o no de la existencia de una secuencia, si se le instruye para responder o solamente para observar la sucesión de estímulos, etc. Así mismo pueden encontrarse modificaciones en la presentación de los estímulos, la duración de éstos, su tamaño, su forma y su cantidad, cada investigador cambia estas variables en función de lo que busque observar. También es posible notar diferencias que se vuelven sustancialmente importantes cuando se trata de tomar un registro electrofisiológico; esto es los tiempos de intervalo entre cada estímulo y la duración de la presentación del mismo, así como la duración total de la prueba y la

cantidad de descansos y duración de éstos que se le den al sujeto. Si estas situaciones no se toman en cuenta al momento de realizar el modelo experimental es posible que los resultados que se obtengan no vayan a corresponder con las preguntas que se intentaba contestar y, de igual manera, si no se consideran al momento de analizar los resultados se corre el riesgo de una malinterpretación.

Durante la revisión bibliográfica llevada a cabo para la presente investigación se encontraron diferentes versiones de la tarea de Nissen y Bullemer (1987) y a continuación se explican algunas de ellas.

En el trabajo realizado por Deroost y Soetens (2006) el objetivo principal era el investigar el papel que juega la selección de la respuesta en la tarea de reacción serial y en el aprendizaje secuencial. En la tarea de estos investigadores el estímulo consistía en un punto negro de 8 mm que podía aparecer en uno de cuatro cuadrados alineados en la pantalla frente al sujeto, la tarea de éste era responder al estímulo lo más rápido posible y de la siguiente forma: en la condición compatible del experimento las teclas C,V,B y N correspondían a los cuadrados 1,2,3 y 4, pero en la condición incompatible correspondían inversamente, es decir a los cuadrados 4,3,2 y 1. El experimento completo consistió en dos bloques de práctica de 50 ensayos y después 15 bloques experimentales de 100 ensayos cada uno; al comenzar cada bloque había una señal marcando el inicio de la prueba, el estímulo era presentado durante un máximo de 3000 ms, después de la respuesta se cambiaba de estímulo dejando un tiempo de 50 ms entre cada uno. Si la respuesta era errónea se presentaba durante 750 ms la palabra "error", y al final de cada bloque se daba a los participantes una retroalimentación general acerca de su desempeño en ese bloque. Cada bloque estaba separado del otro por un lapso de 30 s.

El movimiento que seguía el punto a través de los cuadrados era debido a una gramática artificial que generaba la secuencia a partir de movimientos permitidos según las reglas ideadas por los autores (ver figura 4). Los quince bloques en excepción del trece eran gobernados por esta gramática. Los hallazgos generales de estos investigadores concuerdan con los de Nissen y Bullermer, pudieron observar un decremento en los tiempos de reacción de los sujetos en los bloques secuenciales y un aumento en esta

misma medida al llegar al bloque aleatorio. En las condiciones compatible e incompatible encontraron una mayor disminución del tiempo de reacción inicial comparado con el final en la condición incompatible lo que los llevó a la conclusión de que la versión incompatible requirió de los participantes una selección de la respuesta más controlada.

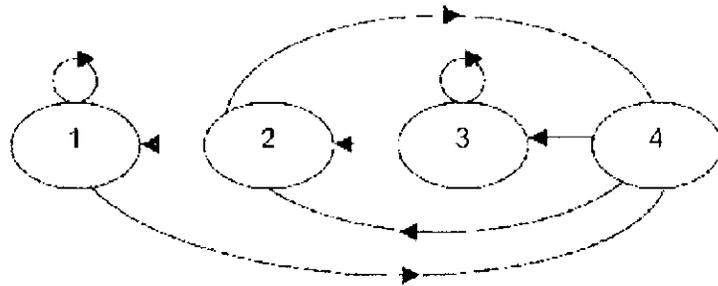


Figura 4. Gramática utilizada por Deroost y Soetens en su experimento

Algunos pocos trabajos de aprendizaje secuencial se han encontrado que además de tomar las medidas básicas de tiempo de reacción y respuestas correctas tratan con datos electrofisiológicos, más puntualmente con potenciales relacionados con eventos, en este apartado describiremos la sección metodológica de algunas de esas investigaciones al igual que los principales resultados conductuales dejando para posteriores capítulos los resultados electrofisiológicos.

En el experimento realizado por Eimer, et al., (1996) los principales objetivos eran determinar si el aprendizaje secuencial es inconsciente y el rol que juegan los procesos motor y perceptual con respecto al aprendizaje en tareas de reacción serial. En esta investigación existían dos tareas, que al igual que en el experimento anterior se derivan de una modificación al paradigma original de Nissen y Bullemer, en la primera la secuencia C-D-B-A-B-D-C-B-D-A se presentaba a los sujetos durante 28 bloques, cada bloque contenía 12 repeticiones (120 pruebas) de esta secuencia sin que existiera una diferenciación en cuanto a dónde terminaba una secuencia y dónde empezaba la otra, de antemano la existencia de reglas que mediaban la aparición de los estímulos era desconocida por los sujetos. Los bloques 13 y 27 fueron al azar y en cuanto a los tiempos de descanso, después de cada bloque se daban cortos tiempos de recuperación y se contaba con uno largo entre el bloque 14 y el 15. En la mitad de las 12 secuencias contenidas en cada bloque, un

estímulo estándar era reemplazado por una letra que entra en conflicto con la secuencia original. Los estímulos estaban conformados por las letras A, B, C y D mostradas una a la vez en el centro de la pantalla. La forma en la que los participantes respondían a la prueba era a través de presionar teclas que correspondían a una letra específica. Cada estímulo permanecía en la pantalla hasta que la respuesta era dada por el participante, entre la respuesta y la aparición del próximo estímulo había 500 ms de intervalo. Después del bloque 14 algunas preguntas de retroalimentación se realizaban al sujeto y en función de su respuesta se consideraba si la persona contaba con aprendizaje explícito o si sólo era aprendizaje implícito, las condiciones del experimento no cambiaban para estos dos grupos formados sólo se separaron para el análisis de resultados.

En la segunda parte del experimento lo único que se cambió fue que en lugar de que los bloques contuvieran la mitad de la secuencia con un estímulo extraño cada una de las series tenía una violación. Los autores concluyen que sus participantes adquirieron conocimiento de la secuencia mostrada ya que los tiempos de reacción disminuyeron y que algunos pudieron demostrar conocimiento explícito de al menos algunos segmentos de la secuencia. Los investigadores indican que el aprendizaje secuencial adquirido influyó la preparación motora para la respuesta de forma directa mostrando una relación entre el aprendizaje secuencial y los procesos relacionados con la emisión de la respuesta.

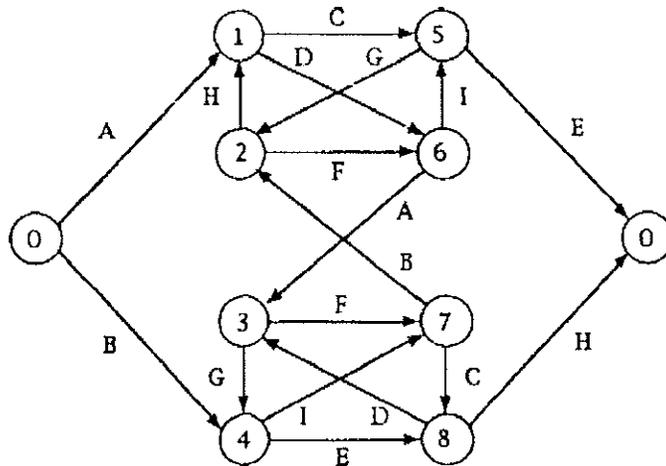
El experimento de Ferdinand et al., (2008) fue muy parecido metodológicamente al de Eimer, aunque el objetivo principal de este experimento fue investigar hasta que nivel el reconocimiento del error cometido puede operar en condiciones implícitas. Utilizaron la secuencia C,B,A,D,B,C,D,A y existían tres maneras en las cuales ésta podría presentarse, regular, irregular o al azar. En la versión regular la secuencia aparecía tal cual, en la irregular alguna de las letras era intercambiada por otra que no debería de aparecer en ese momento y en la versión al azar la única regla que mediaba la aparición de los estímulos era que no se podían dar repeticiones inmediatas de las letras. Los estímulos eran las letras A, B, C y D mostradas una por una en el centro de la pantalla la forma de respuesta era con cuatro teclas cada una correspondiendo a una de las letras presentadas

en la pantalla, cada tecla debía ser presionada con un dedo diferente. El estímulo era mostrado por 200 ms tras los cuales se daba un máximo de 600 ms para responder, si la respuesta no era dada había una señal auditiva que marcaba el inicio próximo estímulo, en el caso de que sí hubiera respuesta el estímulo siguiente aparecía 500 ms después de esta.

Todos los participantes fueron expuestos a dos bloques de 96 secuencias cada uno, las secuencias 1 a la 96 consistían en 48 regulares y 48 irregulares las 96 aparecían en orden aleatorio. Las secuencias 97 a la 112 fueron al azar. La forma en la que se repartieron las secuencias azarosas entre las regulares e irregulares queda poco claro a partir de la explicación provista por los autores. Con los participantes se formaban dos grupos, uno explícito y el otro implícito, esto conllevaba a que los integrantes del explícito tuvieran el conocimiento previo de la existencia de una secuencia pero aún así no sabían cuál era la secuencia sino que, era su tarea el tratar de develarla durante las pruebas. Al grupo implícito no se le mencionaba la existencia de una serie ordenada en la aparición de los eventos.

Los resultados de este experimento mostraron que los TR de los participantes fueron significativamente más lentos para las secuencias aleatorias y que las respuestas correctas para los estímulos en las secuencias regulares fueron aumentando mientras se disminuía el tiempo de reacción. Los errores hacia los estímulos desviantes aumentaron en la segunda parte del experimento resultado con lo cual los investigadores concluyen que conforme la secuencia regular es aprendida los estímulos desviantes se vuelven menos esperados y es más difícil dar una respuesta correcta hacia ellos.

El experimento realizado por Kutas y Benneth en 1997 varía bastante de los anteriores en su metodología y en la tarea que se utilizó para evaluar el aprendizaje secuencial. Sus objetivos principales van dirigidos a determinar las diferencias posibles de encontrar en participantes con aprendizaje implícito y aquellos calificados con aprendizaje explícito con relación a los potenciales relacionados con eventos registrados en el proceso de aprendizaje secuencial.



**Figura 5.** Gramática artificial utilizada por Kutas y Benneth para la generación secuencias del estímulo en su primer experimento.

La tarea consistía en un cuadrado verde que se movía en una cuadrícula de 3 x 3, el estímulo era mostrado en cada ubicación durante 790 ms y después de 10 ms aparecía en otro, el aparente movimiento del estímulo al cambiar de lugar podría ser en diagonal, horizontal, vertical y forma de movimiento de caballo como el ajedrez, en cada uno de los 32 bloques de 185 pruebas cada uno los sujetos tenían que responder con la presión de un botón a uno de los movimientos en específico, este movimiento al que había que responder era cambiado cada bloque. Al finalizar el bloque le daban retroalimentación al participante acerca de la media en tiempo de reacción alcanzada en ese bloque y la cantidad de errores cometidos. El movimiento del cuadro sobre la cuadrícula obedecía una gramática de estado finito como la observada en la Figura 5. Se utilizaron sesiones diarias por cinco días, cada ms y acierto cometido era premiado con dinero extra y cada ms y error cometido se castigaba retirando dinero.

En un segundo experimento Baldwin y Kutas trataron de simplificar la tarea con la finalidad de conseguir que más participantes desarrollaran aprendizaje explícito esto con el objetivo de observar el efecto que pudieran tener las violaciones a la secuencia cuando el sujeto posee conocimiento explícito de ésta a diferencia de cuando el aprendizaje es implícito, todo esto utilizando la técnica de potenciales relacionados con eventos. El estímulo fue el mismo que en el primer experimento con la variante de que en este caso

los movimientos no eran guiados por la gramática artificial sino por una secuencia fija de movimientos que se repetía. Los participantes fueron divididos en dos grupos, a uno de ellos se les decía que existía una secuencia y que sería de utilidad descubrirla para usarla en provecho, al otro grupo no se le informó acerca de la naturaleza de la prueba. Una de las conclusiones de estos investigadores es que los individuos no pueden adquirir de manera pasiva el conocimiento de reglas que guían la regularidad de un estímulo, también dicen que el aprendizaje parece poder manifestarse a diferentes niveles de conciencia y que esto puede deberse a las variadas estrategias de aprendizaje que puede adoptar el organismo y que pueden llevarle a tipos diferentes de conocimiento.

El aprendizaje secuencial, el implícito y el explícito han sido estudiados en gran variedad de investigaciones utilizando tareas muy parecidas que se basan en la exposición a una secuencia creada para el experimento y a partir de este contexto el participante desarrolla conocimientos que han sido clasificados como explícitos o implícitos. Parece probable que la definición de aprendizaje implícito no haya sido aún consensuada principalmente porque cada autor realiza su definición dependiendo de lo que haya observado en sus participantes, es decir, el conjunto de datos específicos que ese grupo de personas de determinada investigación ha aprendido. También puede haber una variación en cuanto a los mecanismos que los sujetos emplean para la resolución de la tarea, si de un estudio a otro el planteamiento de la tarea llevara a los participantes a utilizar un mecanismo en lugar de otro los grupos ya no serían comparables (Frensch & Rüniger, 2003).

#### **4.1. PRUEBAS PARA LA EVALUACIÓN DEL APRENDIZAJE IMPLÍCITO Y EXPLÍCITO.**

En la búsqueda de un indicador claro por el cual sea posible y confiable hacer la separación del aprendizaje desarrollado en el individuo como aprendizaje implícito o explícito, los investigadores han utilizado distintos tipos de tareas que se presentan al sujeto posteriormente a la interacción con el experimento de secuencia, estas tareas son variadas y algunas proveen de datos más objetivos que otras. Existen varios tipos de evaluaciones creadas con el fin de calificar el aprendizaje en el participante, una batería básica de estas usualmente consiste en un cuestionario en donde se interroga a los participantes acerca de su experiencia con el paradigma, una prueba de generación y otra de reconocimiento.

El cuestionario de evaluación es estructurado con el fin de saber si acaso los participantes notaron algo en particular como una secuencia, algún arreglo específico en la aparición de los estímulos o si siguieron reglas para responder a la prueba. Estas pruebas verbales por sí mismas no son comúnmente aceptadas como una prueba fehaciente del resultado explícito o implícito en el sujeto, en la mayoría de las ocasiones se acompaña al interrogatorio con otras evaluaciones que se consideran más objetivas aunque para calibrar dichas pruebas irónicamente se tenga que recurrir al resultado de la prueba subjetiva. (Overgaard, Timmermans, Sandberg, & Clereemans, 2010). La Tabla 1 muestra las post-pruebas utilizadas en algunos de los artículos revisados para la presente investigación. Los investigadores de cada uno de estos estudios tomaron los resultados de estas pruebas para dividir a su muestra en los grupos explícito e implícito.

**Tabla 1**  
Evaluaciones posteriores a la tarea principal realizadas en algunos de los experimentos revisados.

INVESTIGACIÓN	CRITERIOS DE EXPLÍCITO O IMPLÍCITO
<p>An ERP analysis of implicit structured sequence learning Baldwin, K. B., &amp; Kutas, M.</p>	<p><b>Post-tarea:</b> Después de que los participantes eran informados de que había una secuencia se les pedía completar un examen escrito de predicción con 72 preguntas, cada una con una secuencia permisible de dos movimientos y se les indicaba que mostraran dónde creían que se iba a mover a continuación el cuadro, había 8 posibilidades de respuesta y sólo dos correctas, la elección de cualquiera de esas dos era considerado un acierto. Los participantes tenían un 25% de probabilidades de tener la respuesta correcta.</p> <p><b>Criterios:</b> Todos los participantes tuvieron calificaciones en la post-tarea por encima de la probabilidad del azar, los experimentadores no consideran que se trate de aprendizaje explícito ya que la media del desempeño fue de 30.6%.</p>
<p>Explicit and implicit learning of event sequences: Evidence from event-related brain potentials Eimer, M., Goshchke, T., Schlaghecken, F., &amp; Stürner, B</p>	<p><b>Post-tarea:</b> En dos ocasiones durante el experimento se les preguntaba a los participantes si habían encontrado algo particularmente interesante en la tarea, si mencionaban la existencia de una secuencia se les pedía que la reprodujeran verbalmente. Al final de experimento se les daba una hoja que contenía 6 grupos de estímulos y sólo uno correspondía a la secuencia de la tarea, los participantes tenían que escoger el que les pareciera más adecuado.</p> <p><b>Criterios:</b> Eran considerados explícitos los participantes reportaban verbalmente la existencia de la secuencia en ambas oportunidades y que podían reproducir al menos cuatro ítems consecutivos de la misma. Tenían que ser capaces de seleccionar la secuencia correcta en la tarea reconocimiento.</p>
<p>Error and deviance processing in implicit and explicit sequence learning Ferdinand, N. K., Mecklinger, A., &amp; Kray, J</p>	<p><b>Post-tarea:</b> Los participantes del grupo implícito tenían que responder primero si habían notado algo inusual en la tarea y segundo si habían observado un patrón repetitivo en la presentación del estímulo. Después los participantes de ambos grupos debían de someterse a una prueba de reconocimiento en donde se les presentaban 24 grupos de cuatro estímulos y se les pedía responder cuales correspondían a la secuencia observada, sólo una tercera parte eran parte de la secuencia. Después seguía una prueba de generación en la cual los participantes tenían que producir secuencias de ocho ítems, en un primer momento las secuencias generadas tenían que incluir el patrón observado en la tarea y después tenían que excluir ese mismo patrón.</p> <p><b>Criterios:</b> Los sujetos explícitos eran aquellos que podían obtener puntuaciones por encima de una probabilidad azarosa en las tres pruebas.</p>
<p>Attentional Requirements of Learning: Evidence from Performance Measures Mary Jo Nissen and Peter Bullemer</p>	<p><b>Experimento 1:</b> Al final del octavo bloque se les preguntaba a los sujetos si habían notado una secuencia y en qué momento la notaron.</p> <p><b>Experimento 2:</b> Después de cuatro bloques de la tarea dual se les pedía que contestaran una prueba de generación integrada por dos bloques de 100 estímulos cada uno. Los sujetos debían presionar la tecla correspondiente a la posición en la que creían que debía de aparecer el estímulo.</p>

La evaluación consistente en el cuestionario de preguntas abiertas ha sido criticada ya que se piensa que no pasa un criterio de información, esto es que los datos que recaba este cuestionario pueden no corresponder con lo que el individuo ha realmente rescatado del experimento y también está el problema de que esta misma incorrespondencia lleva al cuestionario a carecer de la sensibilidad para situar al sujeto en un contexto parecido al de la tarea en donde pudiera expresar exactamente qué fue lo que aprendió.

Aunque esta prueba ha sido cuestionada es la que ha sido más usada para definir lo explícito o implícito del aprendizaje en el participante ya que si el conocimiento de la secuencia ha sido consciente el sujeto debe ser capaz de verbalizarlo. A favor de este tipo de evaluación se puede decir que las otras evaluaciones de generación y reconocimiento se basan en poner al sujeto en una situación similar a la de la prueba evitando la verbalización lo que impide que puedan realmente calificar el aprendizaje como 100% explícito. Las medidas de desempeño que usualmente proceden situando al individuo en un ambiente similar al de la tarea y que han tenido gran aceptación por los investigadores se consideran con mayor sensibilidad o apego al paradigma secuencial y que la información que recolectan es más directamente comparable con la que ha sido sustraída de la prueba inicial (Baldwin & Kutas, 1997; Frensch & Rüniger, 2003)

El examen de generación es una evaluación en la que el individuo tiene que reproducir ya sea en papel o por medio de la computadora un patrón como el que observó en la tarea experimental aun cuando haya exteriorizado el no haber encontrado ninguna regularidad en la presentación. En una variante de esta tarea se le pide al participante generar secuencias que excluyan a la observada en los bloques, algunos autores han considerado que el poder excluir la secuencia aprendida refleja un mejor control consciente de lo aprendido de tal manera que aquellos individuos que obtengan mejores puntajes en una prueba de generación de la variante de exclusión serían aquellos que generaron un aprendizaje más explícito. En este tipo de pruebas los participantes implícitos también pueden obtener respuestas correctas aunque se espera que en menor cantidad en relación con los puntajes que obtengan en pruebas de generación del tipo de inclusión (Destrebecqz, et al., 2005).

La prueba de reconocimiento generalmente procede mostrando al participante secuencias de estímulos, ante esto el individuo debe escoger aquellas que considere que corresponden a la que vio en la tarea principal.

Es importante mencionar que existe un debate en cuanto a si lo que recolectan los exámenes post-prueba es aprendizaje explícito o si se trata de un aprendizaje más bien implícito y el hecho de que el sujeto sea capaz de reconocer la secuencia correcta inmersa junto a muchas incorrectas obedezca a una simple corazonada o intuición por parte de la persona (un efecto parecido al priming) y no realmente por un conocimiento consciente de la secuencia con la que estuvo trabajando (Frensch & Rüniger, 2003).

Es posible que para obtener una idea más particular de lo que ocurrió en el sujeto a través de la prueba sea necesario conjuntar las técnicas de retroalimentación mencionadas y tratar con cuidado la relación que pueden llegar a mantener el cuestionario con los otros exámenes post-prueba, con esto se hace referencia a que es diferente el trato que se le debe dar estos últimos cuando el sujeto dentro del cuestionario ha dicho que no encontró ninguna secuencia en la tarea a cuando dice que creyó observar algo como una recurrencia en la aparición de los estímulos. Un sujeto consciente de su conocimiento es capaz de explicar su motivación para dar determinada respuesta y no otra.

## **5. TIEMPOS DE REACCIÓN**

El tiempo de reacción (TR) ha sido definido como la cantidad de tiempo entre la presentación de un estímulo y el inicio de la respuesta que éste provoca. En la investigación de fenómenos perceptuales y motores ha sido muy utilizada esta variable (Andreas, 1978; Robertson, 2007).

En el caso de la presente investigación, al tipo de ejecución que se requiere para la resolución de la tarea se le podría denominar ejecución perceptomotriz e implica la coordinación de dos sistemas, la percepción visual para poder captar el estímulo y la actividad motora para responder a la estimulación. Se han diferenciado varios tipos de

tiempo de reacción dependiendo de las condiciones en las cuales se da la relación estímulo-respuesta. El tiempo de reacción simple es observado en situaciones en las que existe un solo estímulo ante el cual el organismo tiene que responder de una manera casi estereotipada como por ejemplo con la presión de un botón. Otro tipo de TR es el tiempo de reacción de elección, se encuentra en situaciones en donde el sujeto tiene que decidir cómo responder dependiendo del estímulo que se le presenta y las opciones posibles de respuesta, el TR de elección es más largo que el TR simple debido a que las condiciones que lo generan son más complicadas tanto por la diferencia entre estímulos como por la existencia de más de una opción de respuesta. Este incremento en dificultad aumenta la cantidad de recursos perceptuales y atencionales que el individuo involucra en la resolución de la tarea en tanto que las reacciones de ajuste que deberá ejecutar también serán mayores, conforme el sujeto adquiera experiencia en la prueba los TR disminuirán y será posible conciliar la rapidez y exactitud exigidas por la prueba. En las pruebas en las cuales los TR obtenidos son de elección, los individuos se enfrentan a la incertidumbre de no saber cuál de las posibles respuestas podría ser la correcta, esto se da, por ejemplo en los experimentos llevados a cabo por Nissen & Bullemer (1987) y Reber (1989). Conforme se avanza en la prueba los sujetos pierden esa incertidumbre y crece la confianza en la toma de decisiones. Leuthold y Sommer (1993) proponen dos tipos de efectos que inciden en el tiempo de reacción mediante la secuencia, estos efectos son denominados efectos de primer orden y efectos de segundo orden. Los eventos inmediatamente previos al estímulo observado ante el cual se da determinado TR son los causantes de los efectos de primer orden ya que ese evento previo sirve de señal para predecir la naturaleza del próximo evento y por lo tanto afecta el TR que en este se registre. Los eventos de segundo orden causan el mismo efecto en el TR pero la diferencia radica en que esto son causados por eventos tempranos dentro de la secuencia.

En el mismo estudio de Leuthold y Sommer (1993), encontraron que parece haber una importancia en la cantidad de tiempo que pasa entre un estímulo y otro es decir el intervalo interestímulo. Los efectos de primer orden son dependientes del intervalo existente y parecen estar facilitados en los casos en los que el tiempo entre estímulos es

de 500 ms o menos. Los autores explican este fenómeno con la acumulación de efectos facilitadores debidos a la repetición continua de estímulos.

En el caso de la experimentación en laboratorio el individuo debe dirigir voluntariamente su atención a la tarea y hacia los elementos de la misma que le ayuden para un mejor desempeño, aquellos estímulos que estén siendo atendidos y algunos cercanos dentro del campo visual son progresivamente mejor procesados y de acuerdo con Mangun y Hillyard (1990) la capacidad de detectar y discriminar estímulos será mejor y se reflejará en la disminución del tiempo de reacción.

# NEUROANATOMÍA DEL APRENDIZAJE

Ya se ha definido el aprendizaje como el cambio en el comportamiento del individuo en respuesta a un estímulo específico, siendo esta respuesta derivada de experiencias anteriores; así el aprendizaje está formando y modificando de manera continua el comportamiento. ¿Cómo es que estos cambios y modificaciones tienen lugar en el sistema nervioso?, ¿Cuáles estructuras cerebrales se ven inmersas en el procesamiento del aprendizaje?

## 1. CIRCUITOS IMPLICADOS EN EL PROCESAMIENTO DEL APRENDIZAJE

Las estructuras cerebrales relacionadas con el aprendizaje son filogenéticamente muy antiguas, ya que se pueden observar reflejos ante nuevos estímulos en todo tipo de animales. En organismos como los mamíferos las estructuras del sistema nervioso que se ha descubierto tienen un papel en el desarrollo del aprendizaje son principalmente las relacionadas con el cuerpo estriado, que tienen conexiones tanto con zonas motoras del cerebro como con el mesencéfalo y con zonas prefrontales de la corteza límbica. Lo que estos núcleos suelen tener en común es el sistema de neurotransmisión que las modula que es el dopaminérgico.

Se ha relacionado la integridad del sistema límbico y el diencefalo con el mantenimiento de la memoria declarativa y a estructuras como el estriado, cerebelo, amígdala y neocorteza se les ha ligado a un proceso de memoria no declarativo. Dada la estrecha relación entre aprendizaje y memoria se hablará conjuntamente de las estructuras involucradas en ambos procesos. (Correa, 2007; P. J. Reber & Squire, 1994).

### 1.1 ESTRUCTURAS BÁSICAS PARA EL APRENDIZAJE

Los ganglios basales son conformados por varios núcleos y se encuentran bajo la parte anterior de los ventrículos laterales. Los núcleos que los constituyen son el caudado, el putámen y el globo pálido, es usual que al ganglio basal se le subdivide en estriado, estriado dorsal y estriado ventral (Carlson, 2006). Cerca de los ganglios basales se encuentran estructuras como el núcleo subtalámico y el área tegmental ventral así como

la sustancia negra, estas estructuras llevan axones al estriado, la amígdala y la corteza prefrontal, por medio de estas proyecciones se forman vías dopaminérgicas que son las más importantes en el desarrollo del aprendizaje.

La corteza frontal se divide posteriormente en áreas motoras y prefrontalmente en áreas de asociación. En cuanto a la corteza motora, ésta se divide en motora primaria, premotora, motora suplementaria y motora cingulada rostral, además de dos áreas caudales en las que se ven representadas las extremidades. El área que se ve involucrada en el aprendizaje motor es principalmente el área motora cingulada rostral, en cambio el área motora suplementaria se encarga de movimientos complejos y autogenerados.

La corteza prefrontal es de gran importancia en el aprendizaje y en su división dorsolateral existen conexiones con el lóbulo temporal y occipital así como con el tálamo. La división orbitomedial tiene aferencias con el lóbulo temporal por su zona más lateral y también del sistema límbico por la parte medial. Esta zona en general se conoce por ser de asociación límbica, lesiones en esta área pueden ocasionar poca inhibición y dificultades en los cambios conductuales (Conway & Pisoni, 2008).

Se ha propuesto que la corteza prefrontal junto con los ganglios basales tienen un papel básico en la organización de la conducta. Esta parte de la corteza incide en la toma de decisiones por medio de regulación de la atención, manteniendo activos los mecanismos corticales necesarios para la atención algunos estímulos en particular. El aprendizaje de habilidades motoras también es mediado por la corteza prefrontal y los ganglios basales, el procedimiento incluye la evaluación de la acción recién realizada y la ejecución de mejoras en la maniobra a través de la experiencia. Algunos de los circuitos cerebrales que se ha demostrado, tienen relación en procesos de aprendizaje son el orbito frontal lateral-estriado ventral el cual produce el aprendizaje asociativo instrumental y facilita la flexibilidad en la conducta. El circuito cingulado anterior rostral-estriado ventral contribuye examinando las probabilidades de error y los ganglios basales actúan seleccionando sistemas corticales ante una limitada capacidad para procesar varios al mismo tiempo, esto es posible por medio del sistema dopaminérgico que ayuda en esta selección.

La amígdala es otra de las estructuras que aunque generalmente se relaciona con el control de las emociones tiene un rol activo en el aprendizaje ya que se encarga de iniciar respuestas motoras y asociar estímulos con respuestas. Sus principales componentes son el complejo lateral-basolateral, el basal, el central y el medial; además cuenta con un núcleo central que envía eferencias al hipotálamo, la protuberancia y el bulbo raquídeo. El núcleo central de la amígdala llega a regular indirectamente el flujo dopaminérgico al núcleo accumbens por medio de proyecciones glutamatérgicas al área tegmental ventral (Correa, 2007).

El hipocampo está fuertemente relacionado con procesos de aprendizaje y memoria, según el principio de Hebb los cambios neuronales que dan cabida a los cambios en la conducta se producen de la siguiente manera: una sinapsis débil se activa constantemente y es inmediatamente seguida por una sinapsis fuerte, con el paso de las repeticiones de estas sinapsis, la fuerte hará que la débil vaya tomando fuerza hasta que por si misma pueda evocar la respuesta que antes sólo lograba la fuerte. Lo anterior se observa en la inducción de potenciación a largo plazo que tiene lugar en el hipocampo, esto es aquel aumento que sufre una neurona cuando es inervada por una sinapsis que se activa frecuentemente.

El hipocampo se localiza en el lóbulo temporal e incluye varias subestructuras, el complejo subicular, el propio hipocampo (subdivido en regiones CA1, CA2, CA3 y CA4) y la circunvolución dentada. Las principales conexiones aferentes y eferentes del hipocampo se dan por medio de la corteza entorrinal cuyas neuronas llevan información hacia células granulosas en la circunvolución dentada por medio de la vía perforante, estas mismas neuronas posteriormente mandan axones al campo CA3. En la circunvolución dentada las sinapsis se forman con células piramidales en el campo CA3, las dendritas de estas células están altamente ramificadas y tienen numerosas espinas dendríticas, es en estas espinas en donde cambios en la estructura y la bioquímica hacen posible la potenciación a largo plazo (Carlson, 2006).

## **1.2 NEUROANATOMÍA DEL CONDICIONAMIENTO CLÁSICO**

Los organismos aprenden relaciones temporales entre un estímulo condicionado y uno incondicionado, para que esta relación se establezca y se mantenga es necesario que al menos un área cerebral involucrada en la percepción de estímulos esté presente, estas estructuras pueden ser el tálamo, el cerebelo o la amígdala y al condicionamiento clásico se le ha relacionado más con esta última en la cual converge información tanto del estímulo condicionado como del incondicionado (Carlson, 2006). La información abstraída del condicionado llega al tálamo y de ahí a la amígdala basolateral, la información del incondicionado suponiendo que éste sea una descarga eléctrica, llega también al tálamo y de nuevo a la amígdala basolateral, de esta forma, los cambios en las sinapsis que mediarán el aprendizaje se encuentran en estas dos estructuras y en la amígdala basolateral también tiene lugar la potenciación a largo plazo que es posible mediante la activación de los receptores a glutamato NMDA ya que estos participan en la plasticidad sináptica de los núcleos amigdalinos (Correa, 2007).

El efecto de la amígdala basolateral fue corroborado por Wilensky, Schafe y LeDoux, quienes en un experimento con ratones dañaron esta parte de la amígdala teniendo como resultado que los animales no lograban la relación condicionada. La magnitud de las descargas de este núcleo de la amígdala está relacionada con la magnitud en la respuesta condicionada.

La amígdala central y su comunicación colinérgica ayudan a la creación de circuitos neurales para el procesamiento del estímulo condicionado, también, por medio de su papel en el inicio de respuestas motoras, organiza la conducta emocional, autonómica y endócrina producida por los estímulos. Por la manera en la que converge la información a la amígdala y las conexiones que contiene es probable que sea en esta estructura donde se den los cambios que conforman al aprendizaje (Carlson, 2006).

## **1.3 NEUROANATOMÍA DEL CONDICIONAMIENTO OPERANTE**

El condicionamiento operante, en diferencia al clásico supone una relación aprendida entre estímulo y conducta, las respuestas que el organismo debe proveer ya no

son simplemente autonómicas, sino que conllevan un proceso de aprendizaje de conductas jamás antes realizadas por él.

Las estructuras cerebrales más estudiadas en el condicionamiento operante son las del haz prosencefálico medial, este haz sale del mesencéfalo a través del eje rostro-caudal, hasta el prosencéfalo basal rostral y es un sistema mayormente dopaminérgico, los cuerpos neuronales del haz de axones se encuentran en las áreas A9 y A10 en dónde se da lugar al sistema mesolímbico (comprende el área tegmental ventral, el núcleo accumbens, la amígdala y el hipocampo), el mesocortical (comprende el área tegmental ventral, la neocorteza prefrontal, corteza cingulada y el hipocampo) y el nigroestriatal (Sustancia negra y el neostriado). Toda el área mesolímbica junto con las conexiones de estructuras corticoestriadoamigdalinas son las más implicadas tanto las fases emocionales de las conductas reforzadas como en el propio aprendizaje.

Las conexiones entre la corteza prefrontal medial, el núcleo accumbens y la amígdala basolateral son mediadas por glutamato pero también reciben aferencias dopaminérgicas del área tegmental ventral. Las aferencias de dopamina y glutamato del núcleo accumbens llegan a las neuronas espinosas medianas que son las neuronas más cargadas de espinas dendríticas, con lo que tienen facilidad para la integración de diversas fuentes de información, gracias a estas neuronas, el núcleo accumbens puede fácilmente reconocer los patrones de activación que produce el medio ambiente y transportar la información resultante hacia regiones de planificación y regiones motoras para poder desempeñar una conducta conveniente.

La transmisión dopaminérgica en la corteza prefrontal y el núcleo accumbens es muy importante para la adquisición de la conducta instrumental porque los reforzadores primarios elevan los niveles de dopamina en estas dos regiones lo que sugiere que el aumento puede estar relacionado con la relación formada entre el desempeño de la conducta y la obtención del reforzador (Correa, 2007).

## 1.4 NEUROANATOMÍA DEL APRENDIZAJE MOTOR

Las respuestas motoras implican una “interacción entre conducta automática y conducta voluntaria” de tal modo que “los programas motores pueden modificarse por las estrategias cognitivas de los sujetos” (Correa, 2007, p. 238) y muchas de las conductas motoras inicialmente necesitan una memoria explícita o declarativa, pero, con la práctica esta memoria explícita se va volviendo cada vez más implícita y la conducta motora más rápida y perfeccionada.

Las estructuras corticales y subcorticales implicadas en el aprendizaje motor parecen mediar cosas diferentes. Las corticales manejan conductas motoras nuevas para las que se requiere flexibilidad neural y las subcorticales manejan las conductas motoras más antiguas para el organismo así como aquellas que no necesitan de modificaciones en su ejecución. Conforme cierto aprendizaje motor vaya ganando experiencia dentro en el organismo la actividad cortical para realizar esta conducta irá disminuyendo conforme aumenta la actividad de las estructuras subcorticales para la misma.

Ya que el proceso estímulo-respuesta se da primero en las áreas sensoriales y después en las motoras se requiere una conexión entre estas dos, pero dicha conexión puede ser directa o indirecta. En un aprendizaje explícito se ha propuesto que hay una conexión directa ya que se están utilizando una serie de reglas para ocasionar el movimiento, pero conforme se adquiere experiencia en la conducta motora y la serie de reglas se van haciendo implícitas, estructuras como los ganglios basales y el tálamo controlan el movimiento por medio de una conexión indirecta. Los ganglios basales encargados del aprendizaje gradual, se conectan a núcleos del tálamo, éste por su parte manda axones hacia las áreas premotora y motora suplementaria para la planificación y ejecución de la conducta. El área motora suplementaria en su parte anterior se encarga específicamente de la adquisición y la parte posterior se encarga principalmente de la ejecución.

El cerebelo también es relacionado con el aprendizaje, el cual trabaja en forma paralela al procesamiento de los ganglios basales, estas dos estructuras son básicas para el aprendizaje de las habilidades sensoriomotoras ya que los ganglios basales procesan las

secuencias motoras repetitivas y el cerebelo por otra parte permite la asociación entre la información visual del estímulo y la respuesta motora que se ha originado. Aún así es importante mencionar que los ganglios basales están comprometidos en el aprendizaje motor planificado ante el cual la retroalimentación de la tarea efectuada no es inmediata, por otra parte, el cerebelo se involucra en el aprendizaje motor de aquellas situaciones en las que el medio ambiente retroalimenta de manera inmediata la ejecución motora (Correa, 2007).

## **1.5 EL SISTEMA DOPAMINÉRGICO EN EL APRENDIZAJE ASOCIATIVO**

Se ha planteado la idea de que los estímulos captados como activadores por un organismo aumentarán la cantidad de dopamina en el sistema por medio de las tres vías dopaminérgicas principales, la mesolímbica, la mesocortical y la nigroestriatal. Esto es probable ya que en el comienzo del condicionamiento la liberación de dopamina es mayor en la corteza prefrontal y cuando ya se ha generado la respuesta la dopamina prolifera más hacia el núcleo accumbens. El inicio de la liberación dopaminérgica a zonas prefrontales se puede deber a la activación del mecanismo por el cual se evalúan los estímulos y sus posibles significados, existen datos que comprueban la escasez de autorreceptores de dopamina en la corteza prefrontal por lo cual no puede haber una óptima regulación de ella. En el neocórtex se encuentra el procesamiento sensorial en relación con la ejecución de respuestas motoras de naturaleza más compleja y que además deben de realizarse con precisión temporal. El control en fases del flujo de dopamina ayuda al cambio en los componentes que forman una sola respuesta. En el núcleo accumbens la dopamina está relacionada con la motivación y reforzamiento de la conducta y en la corteza prefrontal la dopamina modula la memoria de trabajo.

En el aprendizaje por condicionamiento clásico u operante la dopamina tiene su principal función en la adquisición de éstos, pero una vez adquirido el aprendizaje el papel de la dopamina no es tan sustancial. Los receptores para dopamina D<sub>2</sub> al ser bloqueados facilitan el aprendizaje por condicionamiento operante, en cambio el bloqueo de los D<sub>1</sub>

impide la adquisición del aprendizaje por condicionamiento clásico. Más, si estos se bloquean después de adquirido el aprendizaje, la conducta adquirida no se ve modificada (Correa, 2007).

### **3. APRENDIZAJE SECUENCIAL CON RELACIÓN A LAS ESTRUCTURAS NEURALES**

Mediante la utilización de técnicas de neuroimagen se han hecho avances en el descubrimiento de funciones en áreas cerebrales más específicas; en el caso del aprendizaje y el sistema nervioso se han podido relacionar varias estructuras delimitadas, como la corteza prefrontal dorsolateral.

Otro tipo de experimentación en lóbulos frontales ha mostrado que estos son lo suficientemente plásticos como para mediar los cambios conductuales que requiere el aprendizaje. Boettiger y D'Esposito (2004) realizaron un experimento en el que buscaban identificar las estructuras cerebrales involucradas en la asociación E-R y describir diferencias entre la activación durante la aplicación de reglas ya adquiridas y la activación mientras se aprenden las reglas a utilizar, todo esto mediante el registro de resonancia magnética funcional (fMRI).

Para este fin el experimento incluyó tres situaciones diferentes: en la primera (situación familiar) se registraba mientras que el sujeto aplicaba reglas ya conocidas a la resolución de la tarea, en la segunda (situación novedosa) durante la adquisición de reglas de una tarea parecida que requería determinada respuesta motora dependiendo de las características del estímulo mostrado. Por último la tercera situación (situación sin regla) enfrentaba a los sujetos a un arreglo de estímulos con dos posibles respuestas motoras sin ninguna pista ni regla de qué respuesta emitir para cada tipo de estímulo.

Se encontró que la activación fue diferente en cada una de las situaciones, particularmente en la magnitud con la que la que las estructuras participantes se involucraban. En la situación novedosa existió una mayor activación del área motora suplementaria medial (SMA), la corteza prefrontal dorsolateral derecha (dlPFC), la corteza

premotora ventral izquierda y el estriado derecho. Se piensa que estas regiones están inmersas en el aprendizaje asociativo y la deducción de reglas E-R. Por otro lado en la situación familiar se esperaba que la actividad encontrada tuviera que ver más con procesos de mantenimiento, recuperación e implementación de lo aprendido, en este caso, de las reglas. Para esta situación se encontró actividad marcada en la corteza prefrontal y en el área premotora dorsal (dMP), de igual manera en la zona rostral anterior de la corteza cingulada y en la insula izquierda hubo una actividad notable en comparación con las otras situaciones. Debido a estos hallazgos los investigadores tuvieron la idea de que junto con la adquisición del aprendizaje de reglas se tendría que dar una disminución progresiva en la activación de las áreas involucradas con la situación novedosa y los datos que obtuvieron corroboraron esta hipótesis. A lo largo de los bloques experimentales la dIPFC y la SMA mostraron decrementos sustanciales comparando la estimulación inicial con la final. El estriado no mostró esta disminución por lo que se cree que está involucrado en otros aspectos del aprendizaje. Los autores del experimento pudieron hacer una división entre sujetos con alto rendimiento y de bajo rendimiento, descubriendo que a mayor activación de dIPFC, SMA y Vpm (área premotora ventrolateral) mayor era la cantidad de respuestas correctas. En particular se describe que parece haber una actividad sincrónica entre la SMA y la dIPFC.

Estudios anteriores han mostrado un circuito formado por la SMA, la dIPFC, la vPM y el estriado; este último ha sido relacionado con la respuesta ante recompensas inmediatas lo cual explicaría por qué la actividad en esta estructura no decae sino que se mantiene durante la tarea. Ya que la tarea requiere que se mantengan las reglas descubiertas en memoria es lógica la participación de la dIPFC que iría disminuyendo conforme el participante se apropia de la regla. La corteza prefrontal lateral actúa seleccionando premotoramente la relación E-R y manipulando la corteza premotora para la selección de la respuesta más adecuada, conforme se tiene experiencia en la tarea y en ensayos correctos la información se va afianzando en sitios como el estriado y la corteza premotora lateral de donde se puede tener acceso a la información más rápidamente (Boettiger & D'Esposito, 2004).

La corteza cingulada anterior (ACC) y la corteza prefrontal media (MPFC) han sido relacionadas con el aprendizaje secuencial explícito e implícito. Se ha hipotetizado que dichas estructuras actúan de forma diferente en el proceso explícito en comparación del implícito y en general, se ha dicho que el estriado tiene su papel más importante en el aprendizaje implícito. Destrebecqz et. al. (2005) en una de sus investigaciones en el tema del aprendizaje secuencial trataron de separar lo más posible el componente explícito del implícito en una SRTT, esto los llevó a analizar mediante PET las diferencias existentes cuando los sujetos que habían aprendido la secuencia eran enfrentados a dos tipos diferentes de post-pruebas de generación, una de ellas era inclusiva y la otra exclusiva, con la premisa de que las mejores puntuaciones en la prueba de exclusión estarían marcando un proceso mucho más explícito que las de inclusión correlacionaron las mayores activaciones durante esta prueba con la mayor cantidad de aciertos. También analizaron la activación durante la prueba de inclusión.

Estos investigadores confirmaron que el estriado, la ACC y la MPFC se involucran de distinta forma en los dos tipos de aprendizaje. Se encontró una activación en el estriado en las dos condiciones y se cree que esta estructura podría estar sosteniendo una asociación automática de los eventos sucesivos que no necesariamente está acoplada con un conocimiento consciente. En la tarea de generación con exclusión encontraron una correlación entre la actividad de la ACC y la MPFC y el estriado, dicha correlación no existió cuando el aprendizaje fue meramente implícito. La MPFC y la ACC estarían ayudando o manejando al estriado al mantener la información del contexto temporal activa, dado que la activación de estas áreas suele estar acompañada de conocimiento consciente provocarán el desarrollo de un conocimiento explícito en el participante. En cambio cuando el resultado es sólo implícito dicho efecto modulador ejercido por estas áreas sobre el estriado no existe.

# MEMORIA

La memoria es un proceso presente en múltiples especies animales. Sin importar cómo se le clasifique es imposible pensar en un aprendizaje en el que no tenga cabida la memoria. Al aprender los seres vivos conservan ese recuerdo del aprendizaje para sí mismos y además son capaces de transmitirlo a sus congéneres.

Hay varios prerequisites necesarios para la creación de un recuerdo; para empezar el organismo debe estar recibiendo información del entorno, el mismo organismo debe tener un sistema de almacenamiento y otro sistema de recuperación que acceda a los datos guardados cuando esta información es requerida.

## 1. LA RELACIÓN ENTRE APRENDIZAJE Y MEMORIA

Al aprendizaje y a la memoria se les considera como procesos que están ligados íntimamente, *“el aprendizaje es un proceso de adquisición de un cambio en la ejecución mediante el entrenamiento y la memoria es una consecuencia del aprendizaje pues es el proceso de persistencia, aún mucho después del entrenamiento, de lo aprendido”* (Gumá, 2001). En general se puede decir que ambos procesos son dependientes el uno del otro, si no se pudiera recordar nada de lo aprendido en realidad nunca se aprendería nada y si nada se pudiese aprender (modificar) nada habría que recordar.

La memoria -como el aprendizaje- constituye un proceso dinámico que va siendo modificado por la información entrante que pueda llevar al cambio de un recuerdo o a relacionarlo con algo recién adquirido, todo esto se mantiene y se recupera para que pueda ser usado por el individuo (Aguado, 1999).

Los cambios en la conducta mediante la adquisición de información del medio ambiente proceden gracias al aprendizaje y la memoria con la conjunción de estos procesos podemos codificar, almacenar y recuperar lo aprendido (Kandel, et al., 2000).

## 2. ESTUDIOS DE LA MEMORIA

Las investigaciones realizadas en este campo pueden ser divididas en tres grandes grupos:

1. Conductuales, que tienen principal interés son los cambios que pueden ser observados únicamente en la conducta del individuo.
2. Cognitivos, este nivel guarda una gran relación con el estudio conductual ya que al igual que este se vale de la observación de las conductas para llegar a las conclusiones pero en el cognitivo se hacen inferencias en cuanto a los procesos que podrían estarse modificando.
3. Nivel neuronal, en este caso se estudian aquellos procesos que suceden en el sistema nervioso central y que dan lugar al aprendizaje y la memoria, por este método se busca llegar a conocer las estructuras involucradas en el proceso y los cambios que se pueden dar en su activación (Aguado, 1999).

Dado que la información que el ser humano tiene que codificar puede ser de distinta naturaleza se ha postulado que existen mecanismos diferentes para el almacenaje de datos dependiendo del tipo que estos sean o del fin con el que el organismo los necesite, de esta forma se ha hablado de una multiplicidad de sistemas controlando el proceso de memoria.

El recuerdo de un hecho no se encuentra localizado como una unidad en alguna estructura cerebral, más bien es conformado por fracciones de información evocada desde las mismas áreas que se involucraron en la percepción de ese evento.

Con el fin de medir la capacidad de memoria en humanos se han creado varios diseños experimentales con los cuales se evalúan los recuerdos del individuo y usualmente se hacen diferencialmente dependiendo del tipo de memoria que se quiera medir. Algunos de estos diseños incluyen tareas en donde no se pide directamente memorizar, el participante más bien se ve inmerso en tareas de percepción o ejecución y en estos casos el producto en memoria es medido y observado por mejoras en la ejecución de la tarea y reducción del tiempo empleado para contestar. En función de la

dificultad de la tarea presentada será la necesidad de recursos que tendrá el individuo para contestarla, en tareas automáticas no tan dependientes de la atención los recursos necesarios serán pocos, si la tarea requiere de la atención del sujeto la cantidad de recursos cognitivos aumentará y también lo hará si para contestar el individuo necesita adoptar o crear una estrategia.

Existen varias clasificaciones de la memoria tanto en base a lo recordado como a la forma en que se recuerda, una de ellas es la división de memoria a corto o a largo plazo, siendo la memoria a corto plazo (MCP) aquella en la que temporalmente se guarda la información captada, en cambio la memoria a largo plazo es un recuerdo perdurable de los que el organismo procesó. Se cree que la MCP representa una memoria de trabajo de la cual dada su relación con el presente trabajo se hablará a continuación.

Cuando información es mantenida en la conciencia para procesarla en función de realizar con ella la solución de algún problema o situación se trata de memoria de trabajo, ésta tiene la cualidad de retenerse por muy corto plazo a menos que la tarea sea prolongada y se adquiera práctica con los estímulos con lo cual se va promoviendo la creación de asociaciones, dichas asociaciones tienen como resultado la mejora en la ejecución de la tarea. La memoria de trabajo ha sido considerada como un escalón entre la evocación y la cognición ya que se encuentra en la integración de diferentes tipos de contenido perceptual y logra que eso captado sea aplicado al presente y mediante la práctica logra que se formulen expectativas con respecto a cómo actuar en un futuro.

Baddeley y Hitch definen la memoria de trabajo como un sistema de varios componentes que se dividen en tres sistemas: El ciclo fonológico, la agenda viso-espacial y un ejecutivo central. La función del ciclo fonológico es el conservar los estímulos acústicos necesarios para la tarea o también actuar como un medio de repaso para la ejecución. La agenda viso-espacial mantiene activa la información visual concerniente a la tarea. Por último el ejecutivo central controla todo el sistema administrando los recursos atencionales y modificando las estrategias a abordar para la solución de las tareas, este componente actúa como un vigilante atencional (Baddeley, 2000).

La memoria de trabajo se ha diferenciado de la memoria a corto plazo principalmente por el componente de manipulación de la información, un ejemplo sería la diferencia de las pruebas de repetición de dígitos con las variables directa e inversa, en la versión directa se utiliza memoria a corto plazo y en la repetición inversa se involucra la memoria de trabajo. La memoria de trabajo coordina la información de distintas fuentes para que pueda ser procesada y posteriormente se produzca la ejecución por lo que está relacionada con tareas como lectura y comprensión del lenguaje. El control atencional es un factor limitante en la capacidad de la memoria de trabajo, esta postura propone que después de que un estímulo aparece repetidamente y se presenta activación, la memoria de trabajo visuoespacial aparece debido a la atención que se ha dirigido a este estímulo (Agam & Sekuler, 2007).

Una de las divisiones más comunes es la de L. Squire y S. Zola-Morgan, el primer tipo de memoria que estos autores mencionan es la memoria declarativa que también se ha denominado explícita, esta misma se separa en episódica y semántica. El proceso de la memoria declarativa incluye que la información almacenada se encuentre organizada de tal manera que el acceso a ésta se pueda dar de manera consciente (tanto para contenido episódico o semántico) y lo expresado en el recuerdo pueda ser verbalizado.

En segundo lugar mencionan la memoria no declarativa llamada también implícita o procedimental, este tipo de memoria incluye el priming y el aprendizaje motor, perceptual y cognitivo (Gumá, 2001). El aprendizaje que surge del condicionamiento sería un ejemplo de memoria implícita. La información que llegue a almacenarse de forma implícita tiene un mecanismo de recuperación y codificación no consciente por lo que se manifiesta sólo conductualmente.

El descubrimiento de estos dos tipos de memoria se generó de las observaciones a pacientes amnésicos con lesiones en lóbulos temporales en zonas como el hipocampo y la amígdala, estos pacientes eran incapaces de crear recuerdos a los cuales puedan tener libre acceso, pero esas mismas personas son capaces de aprender nuevas habilidades motoras e incluso cognitivas pero siempre sin la capacidad de verbalizar aquello que aprendieron, sin poder explicar porqué lo saben (Aguado, 1999). Aún cuando pareciera

que se puede hacer una diferenciación exacta entre estos dos tipos de memoria, no es así, es difícil pensar que existan pruebas que midan únicamente memoria explícita y pruebas que lo hagan con la explícita dado esto no se puede comprobar que la memoria explícita no tenga componentes implícitos y viceversa.

En cuanto a la modulación neuroquímica de la memoria, se ha encontrado que ésta puede ser afectada y ordenada por múltiples sistemas de neurotransmisores y que incluso la actividad hormonal y visceral del sistema autónomo puede llegar a modularla ya sea de manera directa o indirecta. Estos sistemas son por ejemplo, fibras procedentes del locus coeruleus hacia estructuras como la amígdala, hipocampo, tálamo y el hipotálamo. También se pueden encontrar axones dopaminérgicos desde la sustancia nigra hacia el núcleo caudado, putámen y el globo pálido y también a corteza frontal y cíngula anterior, las neuronas que segregan dopamina en la sustancia nigra tienen un gran papel en el aprendizaje por recompensa, esto se ha comprobado ya que cuando la recompensa es mayor de la esperada estas neuronas disparan abundantemente, cuando es igual a la esperada tienen una respuesta menor y cuando la recompensa es menor se inhiben levemente (Bromberg-Martin & Hikosaka, 2009). Otro neurotransmisor involucrado es la serotonina en este caso procedente de los núcleos del rafe hacia la neocorteza. La acetilcolina tiene su acción mediante axones proyectando desde el cerebro anterior hacia la neocorteza, por último, el GABA en este caso procede desde el hipotálamo hacia el área frontal motora. Algunas otras sustancias que deben tomarse en consideración además de estos neurotransmisores son la vasopresina, la oxitocina, la adrenalina y las endorfinas y encefalinas.

De los sistemas anteriormente mencionados muchos han sido estudiados a fondo como el noradrenérgico del que se ha concluido que tiene su mayor papel en el proceso de la memoria a través de la activación que causa en el organismo. Se ha observado que la calidad del recuerdo generado depende del nivel de activación, este efecto es mayormente visto en corteza prefrontal aunque también se ha demostrado que actúa a nivel del tálamo. Dado que su mayor campo de acción es la corteza prefrontal, la modulación que ejerce en la memoria es a través de la activación y la atención.

Uno de los sistemas más estudiados ha sido el colinérgico, la acetilcolina ha mostrado tener su acción en memoria en procesos tempranos de adquisición, esto se da ya que este neurotransmisor actúa en este caso conjuntamente con el glutamato; la acetilcolina actúa en los receptores NMDA potenciando su acción y de tal forma logrando que se dé una potenciación a largo plazo en el hipocampo. El efecto anteriormente mencionado se corrobora al observar cómo actúan los antagonistas de acetilcolina, cuando se tienen drogas antagónicas se obtienen deficiencias en las etapas de adquisición pero no en las de evocación. Se podría decir que el papel principal de la acetilcolina en la memoria es el de mantener una homeostasis para optimizar los periodos de adquisición y evocación.

Desde los primeros estudios de la memoria se ha especulado acerca de si el proceso depende de varios sistemas o estructuras cerebrales (sistemas múltiples) o si existe un único sistema generador de la memoria. Debido a la variedad de problemas amnésicos encontrados y las notables diferencias que existen en el proceso entre individuos de una misma especie, se ha llegado a pensar en que es más factible la existencia de varios sistemas implicados en el procesamiento de distintos tipos de información para diferentes usos. Dado esto, dependiendo del tipo y de la importancia de la información que entre al organismo se verán involucrados los sistemas cerebrales que intervendrán en su adquisición y consolidación.

En la memoria declarativa ya sea episódica o semántica se ha observado la participación de estructuras como el hipocampo, la corteza prefrontal y el lóbulo parietal medial (Gumá, 2001) que tienen conexiones bi-direccionales con áreas sensoriales. El hipocampo tiene su mayor importancia en el proceso inicial de almacenaje de la información, esta estructura es básica para la potenciación a largo plazo ya que actúa procesando los nuevos estímulos y haciendo posible su relación con otros estímulos o eventos mediante su conexión con áreas neocorticales.

La codificación y el recuerdo formando parte del mismo proceso de memoria se encuentran divididos en las zonas prefrontales, la parte del hemisferio derecho se activa durante el recuerdo de la información adquirida y el izquierdo durante la codificación,

esto no significa que estas áreas sean de almacén, sino que mediante la función que tienen sobre la atención logran enfocar los recursos atentos hacia el procesamiento de la información para la codificación o para la recuperación de lo ya almacenado en estructuras posteriores. La corteza prefrontal también se encargará de la memoria de trabajo en donde a la par de la recuperación y codificación de información se encargará de procesarla conscientemente para la ejecución de la tarea necesaria.

Otra de las estructuras de la memoria, el lóbulo parietal medial, se activa en la evocación de acontecimientos a diferencia de en la evocación de conceptos.

La memoria implícita o no declarativa incluye a otras áreas en su procesamiento, por ejemplo en la adquisición de un hábito participa activamente el cerebelo y al mejorar la percepción visual de cierto estímulo se está involucrando el área neocortical visual y núcleos del neostriado. Para el aprendizaje motor implícito, se involucran los ganglios basales y las interconexiones en caudado y putamen con la corteza, en especial se destaca el papel del sistema dopaminérgico de las neuronas nigroestriadas como reforzador del procesamiento en ganglios basales.

Una variedad ampliamente estudiada de la memoria implícita es el priming (facilitación perceptiva), cuando algo es recordado o adquirido mediante esta modalidad es porque la representación se ha dado para las cualidades más burdas de los estímulos, mas no para poder llegar a hacer una asociación elaborada de ellos, se cree que este efecto de priming depende de las distintas zonas de análisis sensorial.



# ELECTROFISIOLOGÍA DEL APRENDIZAJE

## 1. EL ELECTROENCEFALOGRAMA

La técnica electroencefalográfica surge con la descripción de las ondas cerebrales descritas en 1875 por Richard Caton, este investigador logró desarrollar el electroencefalograma a partir de experimentos con animales a los cuales se les conectaban electrodos en el cuero cabelludo mientras que la actividad leída por estos electrodos era dibujada por el aparato, a los animales les presentaba estímulos como podrían ser luces brillantes y Caton notó como al presentar este estímulo la actividad que estaba siendo grabada en el área occipital se modificaba y volvía a la normalidad en ausencia del estímulo luminoso, aún así su descubrimiento pasó casi desapercibido y fue con los estudios de Hans Berger en 1929 y las demostraciones de un neurocientífico de nombre Adrian ante la reunión de la sociedad de fisiología en Londres en 1935 que los descubrimientos fueron aceptados.

El primer reporte de Berger titulado “Acerca del electroencefalograma del hombre”, divulgó la existencia de dos tipos de ondas cerebrales, una de ellas era amplia y regular, su ritmo era de 10 Hz y era más fácil de observar cuando el sujeto se encontraba con los ojos cerrados y relajado, a esta onda se le llamo alpha ( $\alpha$ ). La segunda onda era de morfología más pequeña además de irregular, su frecuencia era de 20 a 30 Hz y le llamó beta ( $\beta$ ). En investigaciones posteriores se lograron diferenciar las demás ondas que componen el repertorio cerebral. En 1937 Walter descubrió la onda delta ( $\delta$ ) que se presenta en etapas de sueño profundo y es de baja frecuencia. En 1953 el mismo Walter encontró otra onda a la que llamó theta ( $\theta$ ), esta con una frecuencia de entre 3 a 7 Hz.

Pese a que existen otras técnicas más modernas como la tomografía emitida por positrones o la resonancia magnética, el electroencefalograma sigue siendo útil y necesario en investigaciones y en la clínica porque los procesos neurales ocurren en lapsos pequeños de milisegundos y el electroencefalograma gracias a las mejoras a lo largo de su existencia sigue siendo la mejor herramienta para un acercamiento más detallado a la actividad cerebral (Andreassi, 2000; Öhman, et al., 2000).

## 2. POTENCIALES RELACIONADOS CON EVENTOS

Hillyard y Kutas definieron los Potenciales Relacionados con Eventos (PREs), como “Reflejos lejanos de actividad neural organizada y asociada con transacciones de información en el cerebro”(1984). Una definición relacionada con la anterior es la de Fabiani M., Gratton G. y Coles M.G. (2000) quienes dicen que los PREs se relacionan con actividad cerebral desencadenada para preparar al organismo o para que éste dé una respuesta a cierto evento en el medio.

Los PREs surgieron como una herramienta para observar los correlatos neurales generados ante determinados estímulos y situaciones, esto se logra utilizando el resultado del promedio de un determinado número de muestras de la respuesta cerebral ante la estimulación. Las primeras técnicas para obtener estos potenciales eran muy rústicas, Dawson en 1947 y Ciganek en 1964 fueron algunos de los científicos que llegaron a usar una técnica que consistía en tomar lapsos del EEG como fotografías y superponerlas para observar el PRE, este método posteriormente fue reemplazado por la promediación de la señal, fue hasta la década de 1960 y el avance en los equipos de cómputo que el estudio de los PREs pudo avanzar, esta promediación es necesaria porque la actividad grabada por el EEG no es sólo de un núcleo de neuronas sino de toda la actividad eléctrica cerebral espontánea y esta última puede eclipsar a aquella actividad específica que se pretende observar, por esto son necesarias varias repeticiones de la tarea planeada para observar el PRE, con cada repetición la promediación le da más fuerza al potencial borrando el ruido que causa el EEG espontáneo.

En un inicio el estudio de los potenciales se basó principalmente en la correlación del evento presentado al sujeto y el PRE que éste formaba, posteriormente con el desarrollo de nuevas tecnologías se descubrió la forma en la que los potenciales pudiesen dar información más precisa acerca de las posibles fuentes de la actividad eléctrica que se estaba captando aunque la técnica de los potenciales ha sido primordialmente reconocida por su fidelidad temporal. Con el desarrollo del PET y el fMRI se ha buscado la forma de combinar técnicas para facilitar la observación de la actividad cerebral, ya que al contrario que los PREs estas técnicas tienen una alta resolución espacial.

A los componentes se les puede dividir en exógenos y endógenos; los primeros corresponden a una categoría que depende de la estimulación externa sin importar las indicaciones de la tarea. Las modificaciones en estos componentes se observan cuando cambian los atributos del estímulo como podría ser la luminosidad en el caso de un estímulo visual (Luck, 2005). Los componentes exógenos son también llamados tempranos y se pueden encontrar en los primeros 300 ms del registro, de la misma forma los endógenos son llamados tardíos y se encuentran posteriores a los 300 ms de registro (Fabiani, et al., 2000). Los componentes endógenos muestran una influencia indirecta de la estimulación externa, principalmente reflejan procesos internos dependientes de la tarea.

Otra de las taxonomías existentes es la de Vaughan en 1969 quien propuso una diferenciación en los componentes y su clasificación comprendía los siguientes tipos: a) PREs sensoriales, b) Potenciales motores, c) Potenciales de larga latencia y d) Potenciales de cambios fijos. En la clasificación sensorial se encuentran todos aquellos PREs formados por estímulos sensoriales, los potenciales motores refieren a la actividad que anticipa los movimientos voluntarios y suelen variar con la fuerza y la rapidez de la contracción del músculo. Los potenciales de larga latencia son aquellos componentes positivos o negativos con latencias de 250 ms a 750 ms posteriores a un evento determinado, son en respuesta a estímulos esperados e inesperados, los potenciales más conocidos en esta clasificación son el P300 y el N400. Los potenciales de cambios fijos suelen darse en la espera del individuo para dar una respuesta como es el caso del CNV (Contingent Negative Variation por sus siglas en inglés) y del RP (Readiness Potential).

El registro de la actividad eléctrica con el EEG para obtener los PREs es una técnica no invasiva que se realiza colocando electrodos metálicos en el cuero cabelludo del participante añadiendo a este electrodo una crema conductora; la manera de colocar los electrodos en la cabeza del sujeto puede variar para cada investigador aunque una de las formas más utilizadas es el Sistema Internacional 10-20. La actividad eléctrica es amplificada para medir su evolución temporal con precisión de milisegundos en áreas

cerebrales. (Andreassi, 2000; Fabiani, et al., 2000; Gumá & González, 2001; Meneses, 2001).

### **3. LOS PREs EN EL ESTUDIO DE PROCESOS COGNITIVOS**

Ya que tanto la adquisición de una conducta como su ejecución son resultado de la actividad cerebral es posible pensar que los PREs pueden ser herramientas en el estudio del comportamiento principalmente porque éste se forma de combinaciones de procesamientos en varias estructuras, dichos procesamientos pueden ser codificación, comparación (recuerdo), toma de decisión, desarrollo de una respuesta, entre otros.

La importancia del paradigma de investigación utilizado en la obtención de los PREs es vital. Los procesos cognitivos relacionados con estos potenciales no se podrán ver como una medida directa, sino que serán inferidos a partir de la conducta y de la actividad neuronal relacionada con ésta, es por esto que el paradigma utilizado debe además de utilizar artefactos electrofisiológicos en la investigación de determinada respuesta, otras herramientas de medición conductual con cuyos resultados sea posible la comparación y correlación de los PREs obtenidos. De acuerdo con Donchin (1984) la información derivada de los PREs complementa a la información obtenida mediante las pruebas conductuales en vez de reemplazarla y, añade, que al tratar con cuidado de complementar los hallazgos de las dos fuentes es posible obtener datos puntuales concernientes al procesamiento humano de la información, datos que no podrían ser obtenidos mediante otros métodos.

A continuación se exponen algunos trabajos que han elaborado paradigmas para la experimentación con PREs y que han llegado a conclusiones concisas acerca del posible significado de diferentes componentes.

En la obtención de PREs se pueden observar componentes muy comunes y de naturaleza exógena en medida que dependen de las cualidades físicas del estímulo entrante más que del procesamiento cognitivo de éste. Algunos componentes de este tipo difieren dependiendo de la fuente del estímulo, es decir dependiendo de la modalidad sensorial.

En experimentos variados se ha observado que ante una tarea de discriminación y elección visual en la que activamente se involucra la memoria, el registro de potenciales muestra un patrón inicial que consta de P1, N1 y N2, estos componentes disminuyen en voltaje cuando se registran para estímulos no atendidos (Hillyard & Münte, 1984; Mangun & Hillyard, 1990). Así como estos, se han descrito otros componentes a los cuales mediante la experimentación se les ha asignado más que un significado, una explicación a la generación y forma de los potenciales.

Se han observado diferencias en los PREs al comparar aquellos potenciales en los que la atención estuvo dirigida hacia un atributo del estímulo visual como la ubicación o posición con los obtenidos cuando la atención era dirigida primordialmente al color o brillo, se ha postulado que la atención espacial es necesaria para combinar otras características de los estímulos y que por ejemplo los datos de la localización no son procesados de la misma manera que la información acerca del color. Hillyard y Münte (1984) desarrollaron una tarea para describir los PREs ante la presencia de información visual tanto de ubicación como de color. El análisis de los potenciales de esta tarea mostró que la información del lugar de aparición se relaciona con potenciales P122 (P100), N168 (N200) y N264 en zonas posteriores y N148 en zonas anteriores, estos componentes tienen un mayor voltaje que los obtenidos para el procesamiento del color del estímulo. Cuando el estímulo cumplía con los requisitos de color y lugar se encontró una negatividad entre los 150 y 350 ms la cual fue consistentemente más amplia en el hemisferio izquierdo. Hillyard y Münte llegan a la conclusión de que los trazos de PREs que marcan la atención espacial son diferentes de los de la selección del color. Proponen que el componente encontrado entre los 250 y 500 ms es un P300 que marca la decisión tomada por el participante acerca de la concordancia de color y lugar del estímulo procesado. La negatividad que en su experimento precedía a este P300 se dice que es un N200 que podría estar indicando la presencia del estímulo meta.

Los autores de este estudio sugieren que la atención para la selección espacial visual modula componentes exógenos y que tal modulación podría tener como origen el sistema geniculado-estriatal capaz de alterar la transmisión de la información sensorial

desde el relevo. Se postula que la serie de componentes encontrados ante los estímulos están marcando un proceso de atención sostenida que busca integrar y utilizar la mayor cantidad de información posible (Hillyard & Münte, 1984).

**Tabla 2**  
Clasificación de los PREs cognitivos más estudiados.

	<b>CNV</b>	<b>Negatividad de procesamiento</b>	<b>MMN</b>	<b>P300</b>	<b>N400</b>
<b>Polaridad</b>	Negativa	Negativa	Negativa	Positiva	Negativa
<b>Latencia (mseg)</b>	O: e/500-800 E: variable	Cerca de 150	Cerca de 100	300	400
<b>Duración (mseg)</b>	Varios miles	Varios cientos	Varias decenas	De 80 a varios cientos	Varios cientos
<b>Localización</b>	De área frontal hacia zona motora parietal (máximo en vertex)	Fronto-central	Corteza auditiva	Centro-parietal	Centro-parietal
<b>Paradigma experimental que lo genera</b>	S1-S2 S1: aviso S2: pista para emisión de respuesta	Audición dicótica con atención preferencial de un canal	Audición dicótica con tonos blanco en oído no atendido	Odd ball (detección de eventos poco frecuentes)	Incongruencia semántica al final de la lectura de una oración
<b>Procesos cognitivos relacionados</b>	Preparación y anticipación de respuestas motoras o juicios negativos	Atención discriminativa	Detección automática de un no pareamiento (mismatch) perceptual	Actualización contextual o cierre perceptual	Búsqueda en lexicón semántico, violaciones contextuales e interacciones de memoria.

Los PREs cognitivos son de larga latencia y manifiestan la activación de centros neuronales ante tareas específicas. En la tabla 2 se muestran los PREs cognitivos más estudiados.

El papel de la atención en la mayoría de los experimentos y paradigmas para PREs es básico; importantes estudios se han llevado a cabo en relación a este proceso y a algunos componentes en particular. La atención puede ser modulada, atraída o dirigida ya sea por la estimulación o por el control superior del sistema nervioso para dirigir los

recursos atentos a tal o cual estímulo, a estos efectos se les ha llamado bottom-up y top down.

En el caso del top-down se utiliza información obtenida previamente para dirigir la atención a aquellos estímulos importantes para acción a realizarse (Luck & Hillyard, 1994; Noudoost, Chang, Steinmetz, & Moore, 2010; Tsushima & Watanabe, 2009). Algunos cambios en los potenciales exógenos se han tomado como signos de modulación de la atención en el procesamiento sensorial, los aumentos de amplitud en N1 y P1 se han encontrado cuando la ubicación del estímulo es una dimensión relevante, en estos casos incluso en P2 es posible ver modulaciones como aumento en amplitud.

En la búsqueda visual de estímulos meta se ha observado la aparición de un componente denominado N2pc (componente negativo alrededor de los 200 ms con una distribución contralateral posterior) y se ha relacionado principalmente con situaciones en las que tal estímulo debe ser identificado de entre varios distractores. Se cree que este componente se genera durante la búsqueda visual actuando como un filtro para evitar el procesamiento de la información irrelevante. Los cambios encontrados en componentes como N2 y P2 en relación en estudios de atención indican que el fenómeno top-down puede modular la actividad desde alrededor de los 175 ms. La modulación tipo top-down también puede utilizar información que le permita predecir el lugar de aparición de un estímulo y por lo tanto movilizar recursos atentos a esa ubicación, este efecto se observa en modulación a P2, N2 Y P3 principalmente en la dimensión de latencia ya que el inicio de estos componentes es más temprano (Luck & Hillyard, 1994).

### **3.1 COMPONENTE C1**

El componente C1 que es llamado de esta manera ya que su polaridad puede variar, se encuentra más prominente en la línea media posterior y parece originarse en la corteza visual primaria en la fisura calcarina, comienza a aparecer entre los 40 y 60 ms teniendo su máxima amplitud a una latencia de 80 a 100 ms y se ve muy afectado por características físicas del estímulo (como la posición) y por la frecuencia con la que se

presente (Russo, Martínez, Sereno, Pitzalis, & Hillyard, 2001). Se ha mostrado que el C1 varía de positivo a negativo dependiendo del campo visual en el que se encuentre el estímulo, se vuelve negativo para el campo superior y positivo para el inferior

### **3.2 COMPONENTE P100**

Este componente es más prominente en la parte occipital lateral y no tan variable ante los cambios de la posición del estímulo en el campo visual. Se hace visible entre los 60 y 90 ms y su amplitud máxima tiene una latencia de 100 a 130 ms; dadas estas latencias es muy común que los componentes C1 y el P1 se eclipsen mutuamente. Gracias a algunos estudios de fMRI se ha descubierto que la primera parte del P1 parece estar influida por la corteza extraestriada dorsal, mientras que la parte final aparece más afectada por la zona del giro fusiforme aunque las áreas visuales involucradas en este componente pueden ser más de 30 (Luck, 2005; Russo, et al., 2001). El P1 es sensible a la dirección de la atención espacial pero no parece influir en él alguna otra función de orden superior.

### **3.3 COMPONENTE N100**

Posterior al P1 se encuentra un componente denominado N1 que se ve relacionado con cambios en la atención espacial, aparentemente existen dos tipos de N1, el primero tiene su origen en la corteza parietal y el otro en la corteza occipital lateral. Ambos tienen una latencia de 150 a 200 ms. El componente N1 con origen en la corteza occipital parece ser más prominente al tratarse de tareas de discriminación que cuando se manejan procesos de detección (Luck, 2005; Pritchard 1981). En paradigmas experimentales diseñados para el estudio de la atención ha sido descrito un aumento en el voltaje de los componentes P1, N1 y N2 y en ocasiones P2 en función de un cambio en el paso de la información en centros de relevo desde cortezas sensoriales que afecta a los generadores neurales de los componentes mencionados incrementando o disminuyendo su activación. Particularmente el P1 se puede localizar en una zona del área occipital contralateral a la presentación del estímulo que es más sensible a los cambios de atención (Mangun & Hillyard, 1990), pero en general los P1 y N1 generados por la estimulación en

la ubicación a la cual se estaba prestando atención muestran amplitudes mayores (Luck & Hillyard, 1994).

### **3.4 COMPONENTE P200**

El siguiente componente que podría aparecer en un registro de PREs es el P2 en regiones centrales y más ordinariamente en zonas prefrontales y frontales, el componente cambia en magnitud de voltaje dependiendo de las características del estímulo en la tarea, es decir si es relevante para la respuesta que se requiere o para la resolución de un problema, de manera parecida a lo que se puede observar con P300, el P200 es afectado por la probabilidad de aparición del estímulo (Luck, 2005). Se le ha relacionado con la captura y modulación de la atención debido a la importancia del estímulo. En estudios de aprendizaje probabilístico en los que se juega con recompensas se ha encontrado que este componente aumenta en voltaje ante eventos de alta probabilidad de recompensa (Martín, Manes, Hurtado, Isla, & Ibañez, 2010), esto concuerda con otros autores que ubican al P200 como un evento asociado al aumento del alertamiento y de la atención. El P200 estaría evidenciando una modulación temprana de la atención y se encuentra asociado con el sistema dopaminérgico de recompensa en la corteza prefrontal medial, dada la ya mencionada relación del P2 con la selección de estímulos importantes para la tarea se le denominado también FSP (frontal selection positivity) (Carretié, Mercado, Tapia, & Hinojosa, 2001; Eimer, 1997; Potts, Martin, Burton, & Montague, 2006).

En relación con la memoria, se ha visto que el P200 aumenta en amplitud para estímulos ensayados y se ha sugerido que puede estar relacionado con un proceso de comparación de la información visual entrante con las expectativas dadas por el contexto (Evans & Federmeier, 2006; Hannula, Federmeier, & Cohen, 2006).

### **3.5 COMPONENTE N200**

Usualmente con la aparición del P300 se puede observar una deflexión anterior a este denominada N200, dicho componente tiene un pico máximo de 100 ms en la modalidad auditiva y de 180 ms en la visual y se dice que covaría con el tiempo de reacción. Algunos investigadores se refieren al hallazgo como el complejo N2-P3

principalmente en tareas dedicadas a la experimentación de probabilidad del estímulo (odd-ball). En otro tipo de acercamientos al N200 se le ha relacionado con el control cognitivo como un proceso de regulación de la estrategia para la ejecución de la respuesta así como la inhibición de la misma. Otro tipo de experimentación lo ha relacionado con la detección de estímulos novedosos y la orientación de la atención visual. Se ha postulado que el N200 se debería de dividir para la modalidad visual en tres tipos; en zonas fronto-centrales podría haber dos N200 diferentes, uno correlacionado con la detección de estímulos novedosos y otro relacionado con el ya mencionado control cognitivo y en zonas posteriores el N200 estaría relacionado con aspectos de la atención visual (Folstein & Petten, 2008). El efecto frontal causado por la novedad es evidente en el aumento de amplitud para el N2 ante estímulos nuevos, el voltaje parece aumenta en función de que tanta diferencia hay entre el objeto novedoso y la categoría de objetos hasta el momento observados, de tal manera que el N2 frontal más que ser sensible a la complejidad del objeto o a la "novedad" por sí misma lo es a la diferencia de categorías entre los estímulos.

En cuanto al componente N2 posterior se ha observado que el estímulo meta genera un componente P300 que se podría calificar como un P3b el cual es antecedido por un N2 en derivaciones temporales y occipitales, estudios específicos en dilucidar estas diferencias entre los componentes N2 anterior y posterior han estipulado que el N2 posterior que suele ser contralateral, podría estar mostrando la cantidad de atención necesaria para procesar el estímulo en la corteza visual. Por otro lado el N2 anterior de manera global sería un reflejo del alertamiento del sistema ante la estimulación. Folstein y Van Petten sugieren que este sentido de alerta se puede originar mediante un proceso de comparación del estímulo entrante con el guardado en memoria, proceso que sería reflejado en el N2 anterior y cuya amplitud estaría directamente relacionada en primer lugar con la importancia que para completar la tarea tenga la correcta comparación y discriminación de estímulos y en segundo lugar con la diferencia que haya entre un estímulo y el otro.

Otra de las fuentes de variación del N200 anterior es el control cognitivo, este concepto hace referencia a la inhibición de la respuesta, la detección de un conflicto en la respuesta y al monitoreo estratégico de la conducta. En algunos estudios se ha observado que los participantes con menores tasas de falsos en pruebas no-go son aquellos con componentes N2 anteriores más prominentes. El posible origen de este componente parece estar en la corteza frontal lateral, particularmente en el giro frontal inferior. (Folstein & Petten, 2008)

### **3.6 COMPONENTE P300**

Fue descubierto en 1965 por Sutton y sus colegas (Sutton, Braren, & Zubin, 1965), quienes mediante experimentación descubrieron que un componente positivo ocurre relacionado con la importancia de un estímulo en la tarea. En la investigación, Sutton encontró el P300 en cualquier punto de 250 a 900 ms a partir de la exposición al estímulo. Dada su latencia es un componente tardío endógeno que refleja más que las características físicas de la estimulación sensorial.

La aparición de P300 ha sido relacionada con muchas actividades cognoscitivas del sistema nervioso, tales como toma de decisiones, cálculo de probabilidades, atención, discriminación, importancia del estímulo presentado, entre otras (Pritchard, 1981). De acuerdo con Andreassi (2000), estas diferencias en la descripción de la funcionalidad del P300 son debido a la gran variedad de autores que han incursionado en la investigación del potencial y a que cada uno de ellos ha hecho su acercamiento desde ángulos en ocasiones muy distintos, de esta manera si se intenta buscar un común denominador en todas las funciones que se cree están detrás del P300, se podría pensar que éste sería el procesamiento de información.

Tanto la investigación original con la que se descubrió el P300 como muchas de sus predecesoras han puesto la mayor atención en la evidencia más dura en cuanto a qué variables modifican y parecen generar el componente, tal pareciera que las pruebas apoyan una sensibilidad a la probabilidad de aparición del estímulo de tal manera que el P3 será más amplio conforme la probabilidad de la aparición de un estímulo sea menor, y

en cuanto más importante sea ése estímulo para la tarea a desempeñar, y más devoción se tenga en la resolución de la prueba la amplitud de P300 también crecerá (Luck, 2005; Pritchard 1981). Es importante notar que la aparición de P300 se da después del procesamiento sensorial del estímulo, es decir la latencia dependerá de la dificultad que se tenga para categorizar la estimulación entrante y por lo tanto se podría asegurar que está relacionado con la evaluación del estímulo. Con relación al tiempo de reacción no hay una relación tan lineal, se pueden encontrar diseños experimentales en los que la latencia del componente concuerde con los tiempos de reacción y en muchas ocasiones una relación entre estas dos mediciones es imposible de observar.

La toma de decisiones ha sido una de las funciones con la que muchos investigadores han relacionado al P300, en experimentos en donde a los sujetos se les enfrenta a estímulos que serán sus herramientas para decidir en determinada tarea, se ha visto un P300 más prominente para aquellos estímulos que ayudan al sujeto a completar la tarea.

En cuanto al P300 como un indicador de la confianza en la toma de decisiones, se dice que la variable de amplitud es la que muestra un aumento conforme los niveles de confianza también se elevan. Sin embargo esta hipótesis cambia cuando la toma de decisión en la tarea es muy fácil, en este caso la amplitud de P300 está relacionada con la probabilidad de aparición del estímulo. En el caso del estudio de Sutton (1965) en función del P300 y la probabilidad, descubrieron que el componente era más amplio cuando el sujeto no estaba seguro de si el estímulo secundario sería un sonido o una luz. Se postula que en las primeras etapas del proceso atento los componentes tempranos indican el reconocimiento del estímulo y la discriminación de éste entre relevante o irrelevante y los componentes más tardíos como el P300 están influenciados por procesos más complejos.

El reflejo de orientación, como la respuesta del organismo a estímulos novedosos en el medio ambiente ha sido también relacionado con el P300, existen estudios en los cuales se ha hecho una relación entre este reflejo y la generación del componente, en estas investigaciones se ha notado la presencia del P300 ante estímulos emergentes novedosos al igual que a los cambios en estímulos ya anteriormente procesados, en

cambio cuando las modificaciones son predecibles el P300 no se observa. Se concluyó entonces, que el P300 indica una modificación en la atención en asociación con el reflejo de orientación, por lo cual también tendrá que estar inmiscuido en discriminación y evaluación de la importancia de lo que al organismo se le presenta. Estas modificaciones necesarias para el procesamiento del reflejo de orientación necesitan de procesos activos de memoria que afectan la amplitud del P300, las necesidades de atención y memoria variarán indiscutiblemente con el tipo de tarea pero se ha concluido que los estímulos que producen un componente con mayor latencia necesitan de un proceso de memoria más elaborado.

El reflejo de orientación por definición no puede ser formado por un estímulo que se ha vuelto repetitivo, es decir, el individuo se va habituando a la presentación del estímulo que en un principio originó el reflejo, por lo tanto se podría inferir que el P300 disminuirá su amplitud conforme se gane experiencia con determinado estímulo, y se ha mostrado que así es, pero en menor medida a lo esperado.

Thatcher (1977) desarrolló un modelo para el estudio del P300 en el que se encontró que cuando el sujeto observaba y tenía que memorizar un estímulo (una letra por ejemplo) y posteriormente de unos segundos se le mostraba ese mismo estímulo o algún otro al que tendría que reconocer como el estímulo primero o como uno diferente, la amplitud de P300 era mayor para el estímulo que sí concordaba, de estas observaciones concluyeron que el componente podría estar reflejando el acierto en el reconocimiento del estímulo presentado con el guardado en memoria.

En otro experimento llevado a cabo por Donchin, Kubovy, Kutas, Johnson y Herning (1973) se observó que la amplitud del P3 aumentaba conforme los sujetos tenían más información para predecir cuál de dos letras iba a aparecer en el monitor en comparación con la situación en la que la aparición de esas letras era aleatorio, para éstos investigadores los resultados significaron que conforme el individuo posee más datos para predecir el siguiente estímulo la amplitud de P300 aumentaba. Éste es uno de los experimentos que se podrían citar para defender el papel activo del P3 como un reflejo de la toma de decisiones (Pritchard, 1981).

La relación del P300 con algún fenómeno nervioso en particular ha sido objeto de varias hipótesis, la mayoría de los investigadores están de acuerdo en que se relaciona con el procesamiento de la información en el ambiente, por ejemplo en Sutton y Ruchkin (1984) estipularon que el P300 indica el valor que tiene determinado estímulo para el sujeto.

Una explicación más es dada por Donchin (1981) quien propuso el concepto de actualización del contexto, esta hipótesis decía que el P300 es generado cuando los cambios en el estímulo exigen al individuo modificaciones en su entendimiento del ambiente. La amplitud del P300 dependerá directamente de que tan grandes tendrán que ser los cambios en el organismo para lograr una re-contextualización.

Polich (Polich, 2007) realizó una extensa revisión del componente P300 logrando una síntesis funcional tanto de sus características, recursos, subcomponentes, orígenes e hipótesis. Para éste investigador el P300 marca la actividad eléctrica de la revisión mental para la representación de un estímulo. Después del primordial procesamiento sensorial, la atención realiza una revisión en memoria de trabajo del previo enfrentamiento al estímulo. Mientras que el estímulo entrante concuerde en todos sus aspectos con los anteriores estímulos, el contexto (mismo del que ya hablaba Donchin) continúa sin cambio. De otra manera, si en el proceso se encuentra alguna modificación, la atención y su proceso de comparación en memoria producirán la actualización que a la vez se reflejará en el P300. Es en este proceso en el cual se genera la división en dos subcomponentes claramente diferenciados, el P3a y el P3b que se explicarán en detalle más adelante.

Como ya se ha mencionado, en tareas tipo *oddball* la discriminación por parte de los participantes de estímulos blanco y estándar produce un P300 marcado en cuanto la probabilidad del estímulo blanco sea menor, este efecto se ha utilizado para inferir que este componente es originado de procesos de memoria, atención y además, conciencia. Polich menciona que la amplitud de P300 está inversamente relacionada con los recursos de atención requeridos para la tarea, por ejemplo, en las pruebas duales mientras la tarea primaria incrementa en dificultad, la amplitud de P300 para la tarea *oddball* decrementará

y también habrá un retraso en la latencia. El P300 se postula como un indicador de recursos atencionales en función de que en tareas duales si la acción por si misma es poco retadora se obtendrán grandes amplitudes y latencias más cortas para el estímulo meta, infiriendo por lo tanto que con tareas más complejas la amplitud será más pequeña y la latencia más tardía ya que habrá más recursos involucrados.

En el procesamiento pasivo de estímulos las amplitudes de P300 son más pequeñas que en tareas activas ya que los estímulos no relacionados a una tarea causan que los recursos de atención reduzcan la amplitud.

La medida de latencia en el P300 es un supuesto indicador de la rapidez con la que se clasifica el estímulo, es decir en cuanto tiempo se detecta y evalúa. La latencia cambia a través del cuero cabelludo siendo más rápida en áreas frontales y más lenta en las parietales. Dependiendo de la dificultad del estímulo y tarea será la relación entre la respuesta y la latencia de P300, debido a esto se ha pensado en la posibilidad de que el componente sea originado de la relación entre percepción y respuesta. Al analizarse individualmente, las latencias de P300 se correlacionan inversamente con el nivel cognitivo de la persona, es decir, a mayor nivel, menores latencias. Los tests neuropsicológicos con los que se ha encontrado una mayor correlación entre inteligencia y latencia del componente son aquellos que evalúan la rapidez con la que el individuo puede asignar recursos atencionales.

En el extenso estudio a lo largo de los años sobre el P300 se han encontrado componentes que aunque parecieran ser P3, difieren en otras características, Squires, Squires y Hillyard mediante la revisión de experimentaciones anteriores y recurriendo a la propia, lograron sintetizar algunos cambios tanto de latencia como de localización del P300 en dos componentes, el P3a y el P3b (Luck, 2005). El componente P3a se puede producir por ejemplo presentando un tono infrecuente en una serie de tonos comunes sin la necesidad de respuesta, entonces se observa un potencial con amplitud máxima en la zona central y parietal y con una latencia temprana, en cambio, el P3b nace en el procesamiento del estímulo blanco para una tarea, se ha demostrado que este componente se diferencia del P300 regular en que es observado cuando existe el

procesamiento de estímulos meta con poca frecuencia de aparición pero que eran esperados por el individuo. Otro componente podría estar relacionado con P3a, este componente formado por un distractor poco frecuente que se incluye de manera azarosa en la secuencia de estímulos blanco y estándar se observa con una distribución central y frontal con una latencia corta rápidamente habituable y se le ha llamado “P300 novedoso.” Ya que este componente decrece en amplitud relativamente rápido podría estar relacionado con el reflejo de orientación, además se le ha vinculado con la actividad del lóbulo frontal y el hipocampo.

Si los distractores en la tarea oddball de 3 estímulos son repetitivos, se obtiene un “P300 no-go”, cuya distribución es más central que el P300 en zonas parietales presente en estímulos blanco. El P300 no-go se ha ligado a la inhibición de respuestas.

Al observar los componentes P3a, P3 novedoso y el P3 no-go se puede pensar que el distractor y los requerimientos de la tarea son determinantes en la amplitud del componente. Dadas las condiciones experimentales de las cuales surgieron estos componentes se pensaba que se trataba de tres distintos. Mediante un estricto paradigma de oddball de tres estímulos se pudo observar en variaciones de dificultad de la tarea y del tipo de distractor que las tareas fáciles dieron lugar a un potencial parecido al P3 no-go, para las difíciles se obtuvieron componentes parecidos al P3a y al P3 novedoso. Mediante estudios posteriores se pudo confirmar que estos 3 componentes son en verdad variaciones de uno mismo que varía en topografía dependiendo de las demandas de la tarea.

En una prueba oddball de tres estímulos en la que se utilizó un recuadro tipo ajedrez en blanco y negro como distractor, un estímulo estándar que consistía en un círculo azul y un estímulo blanco que también era un estímulo azul pero ligeramente más pequeño que el estándar, se observó que P3a muestra una amplitud máxima en la zona central, P3b tiene una máxima amplitud en zonas parietales y el pico de latencia para ambos potenciales fue más corto sobre las zonas frontales aunque más tardío en las parietales. El tiempo de reacción mostró una relación positiva con P3b en áreas parietales, pero no hubo relación significativa con la latencia de P3a. En otro experimento

similar pero con estímulos auditivos se encontraron resultados muy parecidos, a los tonos no escuchados pero no atendidos les seguía un componente P300 parecido al de los estímulos atendidos, este componente para los no atendidos posicionado más frontalmente denominado P3a, mostraba una latencia de 220 a 280 ms mientras que el otro componente tenía una latencia de 310 a 380 ms. Los componentes P3a y P3b comparten distribuciones de amplitud distintas a través del cuero cabelludo siendo el P3a más frontocentral y el P3b más centro parietal, mientras que la medida de latencia es topográficamente similar pero varía dependiendo del componente y el tiempo de reacción, esta variación puede ser debida a los cambios en el contexto tanto de la tarea como del estímulo que producen activaciones sobrepuestas de sistemas funcionales distintos, lo cual concuerda con que el procesamiento de los estímulos novedosos sea modulada por efectos del contexto, definiendo a los novedosos a partir de la no repetición e involucrando un fenómeno top-down en estímulos repetitivos. Polich, infiere que las evaluaciones de estímulos se dan por medio de atención focal (P3a) en función de mantener actualizado el contexto por medio de operaciones de memoria (P3b), más o menos en el mismo canal, Courchesne (1987) explicaba que los estímulos novedosos pueden no ser rápidamente categorizados por los individuos sino que mediante las repeticiones se logra la abstracción de atributos importantes en los que recaerá la atención y comenzará la evolución del procesamiento cognoscitivo (Pritchard, 1981). Las diferencias de amplitud y latencia entre estos dos componentes pueden reflejar el procesamiento de información en distintos sustratos neurales y por diferentes vías

Se ha observado en pacientes con daño en lóbulo frontal un decremento en la amplitud del P3a, pero sin variaciones en la amplitud parietal del P3b, en otra población de pacientes con lesiones en el hipocampo se ha visto reducción en la amplitud del P3a hacia estímulos distractores novedosos, pero sin ningún cambio para el P3b producido por los estímulos blanco. En estudios de registros profundos en la formación hipocampal de humanos se ha descubierto que el P3b es originado en el lóbulo temporal medial. La unión de las áreas temporal y parietal es importante para la producción del P300 ya que si no está íntegra se afecta la amplitud del componente en el área parietal. La importancia de

esta conexión yace en la implicación de que los subcomponentes P3a y P3b marcan un circuito de áreas frontal y temporoparietal.

La discriminación entre un estímulo blanco y uno estándar en los experimentos con oddball se inicia en el lóbulo frontal ya que éste es sensible a los requerimientos de atención exigidos por la prueba. En estudios con PREs y fMRI se ha observado actividad en el lóbulo frontal en detección de estímulos raros o alertantes, por lo tanto P3a se podría estar generando en el procesamiento de esos estímulos cuando la atención focalizada es la suficiente. Por otro lado el P3b parece formarse con la activación de fuentes de atención que requieren el involucramiento de procesos de memoria en áreas temporales y parietales. La asunción de que el nacimiento de los subcomponentes P3a y P3b es originado por la activación de áreas frontales y temporoparietales congenia con el razonamiento de que el estímulo entrante provoca la atención top-down y que por otro lado las operaciones en memoria evocadas por el bottom-up marcan la organización y producción de la respuesta.

Más alteraciones a la arquitectura del P300 se han encontrado al modificar el intervalo interestímulo (ISI) utilizado en las pruebas como la oddball, en general se han obtenido componentes más amplios para eventos en los cuales el ISI es largo que en aquellos en el que es corto, una de las hipótesis es que se les da más valor a los eventos con ISI prolongado debido a la incertidumbre temporal que produce al ser más difícil calcular la aparición del estímulo (Leuthold & Sommer, 1993).

De acuerdo con Polich, los sistemas de neurotransmisión involucrados en la generación del P300 no han sido elucidados por completo, pero los datos con los que se cuenta han ayudado a corroborar algunas hipótesis. Se ha sugerido por ejemplo, que P3a está relacionada con atención focalizada en áreas frontales y la memoria de trabajo, estos procesos podrían estar controlados por actividad dopaminérgica, mientras que el P3b se encuentra relacionado con activación temporoparietal, área en la cual es posible encontrar densas entradas de norepinefrina. Los estudios del P300 y estos sistemas de neurotransmisores en tres poblaciones distintas, siendo estas, una control, pacientes con síndrome de la pierna inquieta y pacientes de parkinson, todos en tareas de oddball con

tres estímulos han mostrado que la amplitud de P3a hacia el estímulo distractor se encuentra disminuida en los sujetos con el síndrome y básicamente es nula para los pacientes con parkinson. En el caso del P3b para el estímulo blanco, éste es comparable para los grupos control y de los pacientes con el síndrome, pero en los pacientes con parkinson se encuentra ampliamente reducido. Los anteriores datos muestran que el P3a y una parte del P3b son afectados por actividad de la dopamina. En cuanto al sistema norepinefrínico, se ha sugerido que el sistema del locus coeruleus ejerce el control en la generación parietal del P3b en la detección del estímulo meta. Esta hipótesis concuerda con la activación topográfica del locus coeruleus en el área temporoparietal.

Lo que hasta el momento se ha descrito son algunas de las hipótesis que tratan de explicar y elucidar el funcionamiento y origen del P300, Polich agrega una hipótesis más. Para empezar, define al P300 como un componente que se genera por una amplia red de procesamientos relacionados con atención y memoria, sin embargo hace énfasis en la dificultad de especificar más esta definición debido a que se puede encontrar al P300 *"...en cualquier prueba que requiera discriminación de estímulos, un evento psicológico fundamental que determina muchos aspectos de la cognición"* (Polich, 2007). También hace la referencia de que, aunque la división del P300 en subcomponentes como el P3a y el P3b ha ayudado a determinar la interacción entre los procesos, la esencia de los componentes observados es aún desconocida.

La hipótesis de Polich sobre el origen del P300 es que se trata de un marcador de un proceso inhibitorio, ya que si el componente se encuentra relacionado con procesos atentos y de memoria los mecanismos que podrían estar generando o mediando estos mismos procesos deben también estar involucrados en la inhibición de otro tipo de activación cerebral que aleje recursos de la tarea principal. Por lo tanto el P300 y sus subcomponentes podrían estar reflejando la inhibición de otros procesos que es necesaria para que la información relevante del estímulo viaje y se procese con mayor rapidez desde áreas frontales a las temporoparietales. Polich expone puntualmente por qué su hipótesis es consistente con los antecedentes históricos y experimentales del P300:

- 1) Ya que es importante el reconocer un estímulo poco frecuente e improbable en el medio ambiente, la inhibición de la actividad no relacionada con el procesamiento de dicho estímulo es adaptativa para promover la focalización de la atención. Esto estaría provocando una gran amplitud del componente P300.
- 2) El control inhibitorio anteriormente descrito se ve afectado por el procesamiento de otras tareas difíciles que requieren de altos niveles de atención, limitando por lo tanto los recursos atencionales libres para el tratamiento del estímulo entrante. Esto por lo tanto provocaría un P300 de amplitud más pequeña y latencia más larga.
- 3) La activación que se dé en el individuo modulará el nivel de la inhibición, gobernando por lo tanto la cantidad de recursos atencivos que estarán disponibles, modificando por lo tanto al P300.
- 4) La correlación que se ha demostrado, existe, entre la latencia de P300 y la inteligencia del sujeto muestra la rapidez con la cual los individuos son capaces de inhibir procesos adyacentes.
- 5) Las disminuciones en amplitud y las latencias más largas que se dan con el envejecimiento y enfermedades neurodegenerativas se originan por fallas en los procesos cerebrales para las señales inhibitorias.
- 6) Los sistemas de neurotransmisores que se han postulado para los subcomponentes P3a y P3b concuerdan con la hipótesis de la inhibición dado que los efectos mediados por estos sistemas de neurotransmisión crean las señales inhibitorias que afectan al P300.

Aun con los múltiples estudios e investigaciones desarrolladas en función de elucidar el papel del P300 en la cognición humana, no se ha llegado a una conclusión satisfactoria en cuanto a qué procesos podría estar reflejando este componente y de qué manera se ve afectado por las múltiples variables endógenas.

#### 4. LOS PREs EN EL ESTUDIO DE LA MEMORIA Y EL APRENDIZAJE

El abordaje de la función de la memoria con los PREs, cómo es ésta afectada y como puede influir en otros procesos ha sido ya estudiado y múltiples hipótesis se han generado sobre como el P300 y otros componentes pueden estar relacionados con ella. Algunas de las ventajas que se dice que tiene la técnica de los PREs en este tema son su alta resolución temporal, el hecho de que un potencial puede ser obtenido sin necesitar la una respuesta conductual del sujeto, lo cual ayuda a la observación del proceso de una forma más pura. También se considera la resolución espacial de esta técnica que aunque no es muy fiel permite reconocer diferencias topográficas y localizar posibles generadores de actividad temporal precisa que en este caso se pueden correlacionar con procesos de memoria (Gumá, 2001).

En estudios en los que se ha manipulado la dificultad de reconocimiento del estímulo más que su probabilidad se ha encontrado que la actividad cerebral ante estímulos correctamente reconocidos genera una mayor amplitud en el P300 (Fabiani, et al., 2000), en este sentido la prueba de Sternberg es una de las más utilizadas. Considerando a la memoria como un proceso de codificación, almacenamiento y recuperación se ha encontrado que la última etapa de recuperación en ocasiones no puede ser denominada de esta manera en el amplio sentido de la palabra sino que las declaraciones verbales de los sujetos sugieren no un reconocimiento, recuperación o comparación completa del engrama en memoria con el estímulo actual, sino un sentido de familiaridad con el objeto presentado, un sentimiento de haberlo experimentado antes a lo cual no se le puede llamar conocimiento explícito. En estudios en los que se han dividido los potenciales de los estímulos ante los cuales el sujeto establece un conocimiento directo de aquellos a los que no reconoce se han obtenido mayores voltajes para P300 en aquellos estímulos abiertamente reconocidos. Estos resultados se han asociado con una recolección consciente y en otras hipótesis con un trazo de memoria más claro de tal manera que el voltaje de P300 aumenta conforme el recuerdo sea más sólido. Otra conclusión con respecto a estos hallazgos es que la codificación de los

estímulos que logra una sólida consolidación en memoria facilita la recuperación y reconocimiento que produce un incremento en el voltaje del P300 (Pritchard, 1981; Polich, 2007).

Además del ya mencionado P300 otros componentes se han visto relacionados con la memoria; el Late Positive Component (LPC) ha mostrado cambios de amplitud cuando se compara eventos ya memorizados con eventos parecidos pero con elementos novedosos, se hipotetiza que este componente tiene su origen en el procesamiento que tiene lugar en las estructuras de lóbulo temporal medial (Hannula, et al., 2006).

El FN400 es otro componente que aunque es más temprano que el LPC se ha relacionado con la memoria, en particular para el reconocimiento de rostros y se le considera como una modulación o incluso modalidad del N400.

Hannula y colaboradores (2006) desarrollaron un experimento en el cual buscaban encontrar las modulaciones en los PREs generadas por la carga en memoria. Con este fin idearon una prueba en la que los participantes memorizaban apareamientos de paisajes con caras, estos pares debían ser mantenidos en memoria para poderlos reconocer posteriormente en bloques en los que se podían encontrar esos pares ya estudiados, pares nuevos (mismos paisajes y caras ya vistos pero en otro orden) e imágenes, paisajes y caras, nunca antes vistas. Encontraron modulaciones de los potenciales en componentes como el P320, el LPC y el N400. En el caso del P320 encontraron una mayor positividad para los ensayos que concordaban con los memorizados en comparación con los que eran re-apareamientos o estímulos nuevos.

El LPC tuvo un efecto parecido al del P320, este componente que se ha relacionado con procesos tales como el repaso de la respuesta, análisis posterior, retroalimentación consciente, entre otros, fue encontrado en este experimento con la cualidad de ser significativamente más amplio para las pruebas reconocidas a partir de las ya estudiadas

## 4.1 ESTUDIOS DE APRENDIZAJE SECUENCIAL Y PRES

Anteriormente se abordaron algunos de los experimentos encontrados en relación a la investigación del aprendizaje secuencial utilizando potenciales relacionados con eventos, ya descrita la metodología utilizada por cada uno de ellos procederemos a exponer algunos de los principales hallazgos electrofisiológicos hechos por estos investigadores.

En la investigación de Eimer et. al. (1996) los resultados más importantes fueron encontrados en el componente N2 que fue significativamente más negativo para aquellos estímulos desviantes (que no concordaban con la secuencia) que para los estímulos estándar. El grupo de los participantes que fue clasificado como explícito mostró un mayor aumento en N2 en los estímulos desviantes y también en el TR de estos mismos estímulos.

En cuanto al componente N2 la conclusión de estos investigadores es que parece reflejar la cantidad de aprendizaje explícito desarrollado por los participantes.

Eimer y sus colaboradores ahondaron en un componente llamado LRP (por sus siglas en inglés, lateralized readiness potential) al que se le podría denominar como potencial de preparación lateralizada, este es encontrado como una deflexión negativa previa a la ejecución de la respuesta con la mano derecha o izquierda y en la corteza contralateral a la mano que se utilizó (Brunia & Damen, 1988). Los investigadores esperaban que si la anticipación de la respuesta era lo que originaba el decremento en el tiempo de reacción también se pudieran encontrar latencias del LRP cada vez más tempranas. Lo que encontraron en su segundo experimento respalda de alguna manera esta postura ya que obtuvieron registros del LRP inmediatos a la presentación del estímulo estándar y en el caso de los estímulos desviantes encontraron que se daba una activación previa para la respuesta que debería ser la correcta si se tratase de un estímulo estándar, dicho efecto sólo se encontró en los participantes explícitos.

En el estudio de Ferdinand et al. el objetivo principal para usar una tarea SRTT combinada con registro electrofisiológico era el observar los errores cometidos y los percibidos y determinar si acaso son usados como señales para lograr el aprendizaje. Los resultados de Ferdinand y sus colaboradores concuerdan en gran parte con los hallazgos de Eimer et al. en cuanto al componente N200 ya que este componente fue encontrado

en aquellos estímulos que violan la expectativa del participante con lo que se podría decir que el N2 está reflejando eventos faltos de concordancia entre la estimulación actual y la esperada. El N2 puede estar señalando el conflicto que se genera en el organismo para inhibir la respuesta preparada y generar otra que concuerde con el estímulo que tiene frente. Otro resultado con respecto al N2 fue que su amplitud media fue significativamente más negativa para los estímulos raros que para los estándar pero no hubo diferencias significativas entre los grupos implícito y explícito.

En cuando a las respuestas incorrectas se encontró el componente ERN/Ne (Negatividad Relacionada con el Error) con una amplitud máxima en Cz tanto para participantes explícitos como para los implícitos.

En relación con el P300 encontraron una interacción entre el tipo de estímulo y las épocas 3 y 4 del estudio (se dividió el tiempo de la sesión experimental en cuatro épocas) en los sujetos explícitos resultando el P300 con una amplitud mayor para los estímulos raros que para los regulares.

En conclusión los autores dicen que sus resultados prueban que el monitoreo de los errores tiene lugar también en el aprendizaje implícito y que los estímulos raros o desviantes se vuelven errores percibidos tanto en el aprendizaje explícito como en el implícito y por lo tanto el monitoreo de los errores está moldeando el aprendizaje secuencial aún cuando la persona no esté consciente de tal situación.

En la investigación de Baldwin y Kutas los objetivos de sus experimentos eran encontrar aquellos componentes que estuviesen relacionados con el desempeño en una tarea de gramática artificial y una vez descritos usarlos como variables dependientes para determinar si el desempeño en el aprendizaje explícito difiere del implícito.

En cuanto a los componentes encontrados los investigadores describen la aparición de un P300 que fue más amplio para aquellos movimientos del estímulo que eran más raros, también los estímulos meta (aquellos a los que había que responder) generaron un componente con mayor voltaje que el obtenido con los estímulos estándar. También se encontró un P300 hacia los estímulos meta que no eran gramaticales es decir que violaban la secuencia, aun así el P300 encontrado en los estímulos meta gramaticales

fue todavía mayor y se encontró relacionado con el desempeño ya que este efecto fue creciendo con la práctica.

En las diferencias encontradas entre el grupo explícito y el implícito se describe una mayor negatividad previa a la respuesta en el grupo explícito, esta negatividad se relaciona con el componente LRP. En el P300 se encontró que en la modalidad explícita era más amplio sin importar la gramaticalidad. En general los investigadores concluyen que los PREs pudieron mostrar que los participantes crearon expectativas en cuanto a la aparición de los estímulos y que dichas expectativas estaban fundamentadas en el aprendizaje de la secuencia de tal manera que cuando había una violación en la aparición de los estímulos los PREs cambiaban. Para los estímulos estándar no gramaticales el potencial fue más positivo entre los 250 y 350 ms, pero para los estímulos meta no gramaticales el potencial fue en general más negativo.



# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los estudios realizados acerca del procesamiento del aprendizaje secuencial en su mayoría se orientan a elucidar la forma en la que se consolida un conocimiento implícito o uno explícito y a describir las peculiaridades de cada uno de éstos. Al momento las investigaciones encontradas en las que el investigador relaciona el aprendizaje secuencial, implícito y explícito con los potenciales relacionados con eventos, son enfocadas a conocer acerca de la relación entre ambos tipos de aprendizaje y sus respectivas bases neurales, así como las diferencias existentes entre los dos tipos.

En algunos estudios con PREs se ha propuesto la importancia de encontrar los mecanismos (o mecanismo) mediante los que el ser humano es capaz de abstraer información del contexto que le rodea y cómo es que después se puede acceder a estos conocimientos de manera implícita o explícita. Eimer et al., (1996) se interesaron por el papel del procesamiento motor y perceptual de la información recibida por el sujeto en la formación del aprendizaje secuencial implícito y explícito, y coincidieron con Baldwin y Kutas (1997) en que los PREs podrían ser utilizados como indicadores de estos tipos de aprendizaje y que incluso por medio de éstos se podría llegar a diferenciar entre los dos clases de procesamiento.

Las conclusiones de los investigadores que han trabajado con aprendizaje serial en conjunción con PREs han sido variadas. Eimer et al. (1996) encontraron que el aprendizaje en los participantes se iba observando tanto en las mediciones conductuales como en las electrofisiológicas, aunque su discusión se enfoca en relacionar estas últimas con el grado de conciencia del aprendizaje adquirido. Ellos encuentran una relación entre el componente N2 y el conocimiento explícito y este componente se interpreta como un indicador de la cantidad de este tipo de aprendizaje disponible para el sujeto; en el mismo experimento encontraron una relación entre el potencial LRP (lateralized readiness potential) y una anticipación motora secuencial. El mismo hallazgo para el componente N2 fue corroborado por Ferdinand et al (2008), cuando se comparaban eventos en los que la aparición de un estímulo desviante generaba una mayor amplitud en el N2.

En el experimento llevado a cabo por Baldwin y Kutas (1997) se encontró un componente entre los 300 y 400 ms para todos los eventos pero la amplitud fue mayor para aquellos estímulos en los que se debía generar una respuesta, los investigadores reportan un aumento en esta positividad generado por la práctica. Los resultados sugieren un efecto de confirmación o violación de la expectativa del sujeto dada por el aprendizaje de la secuencia.

Al observar investigaciones pasadas que tratan tanto con aspectos puramente conductuales como con electrofisiología (Baldwin y Kutas 1997; Boyer, M., Destrebecqz, A., & Cleeremans, A. 1998; Deroost, N., & Soetens, E. 2006; Eimer et al. 1996; y Ferdinand et al. 2008) es posible observar que todas han tratado con aprendizaje secuencial a través de la exposición de un grupo de sujetos a una tarea seriada (el modelo original fue empleado por primera vez por Nissen y Bullemer (1987)) y existe una conclusión consensuada: la adquisición de este tipo de conocimiento se da paulatinamente a través de los ensayos y se observa en la disminución de los tiempos de reacción (TR). Así, es lógico pensar que los recursos atencionales y de memoria que se relacionan con el aprendizaje van cambiando gradualmente a través de la tarea, y esto lleva a proponer que dado que estos cambios se llevan a cabo en el sistema nervioso y éste es electrofisiológicamente medible, entonces será posible relacionar los cambios conductuales con cambios graduales en los potenciales relacionados con eventos de tal manera que las modificaciones en conducta reflejadas en el aumento de respuestas correctas y disminución del tiempo de reacción podrán corresponderse a modificaciones en la actividad eléctrica cerebral.

Considerando lo anterior la presente investigación busca responder a estas preguntas:

- 1) ¿Cómo se comportan los PREs durante el desarrollo del aprendizaje secuencial?
- 2) ¿Las diferencias conductuales observadas en los sujetos corresponden con cambios electrofisiológicos en los PREs?
- 3) ¿Cómo se comportan los PREs durante la adquisición de aprendizaje implícito y explícito?

# OBJETIVOS E HIPÓTESIS

## 1. OBJETIVO GENERAL

Describir conductual y electrofisiológicamente cómo se va generando el aprendizaje secuencial, y determinar si existen cambios en los potenciales relacionados con eventos entre los ensayos iniciales y finales del procedimiento experimental.

### 1.1. OBJETIVOS PARTICULARES

Utilizar la secuencia de reacción serial desarrollada por Nissen y Bullemer (1987) con algunas modificaciones, esperando replicar los resultados conductuales ya reportados en múltiples ocasiones. La modificación principal consistió en presentar a cada participante tres bloques aleatorios, siete bloques secuenciales, un bloque aleatorio y dos bloques secuenciales, en lugar de emplear dos grupos de sujetos, uno sometido sólo a bloques aleatorios y otro sólo a bloques secuenciales. Con estos cambios se pretendió que los cambios conductuales y –sobre todo- los cambios electrofisiológicos pudieran evaluarse en las mismas personas, reduciendo la presencia de variabilidad entre sujetos.

Después de clasificar a los sujetos como con aprendizaje implícito o explícito, comparar los PREs entre ambos grupos de sujetos.

## 2. HIPÓTESIS GENERAL

El aprendizaje secuencial se manifiesta como a) una disminución del tiempo de reacción en los conjuntos de estímulos (bloques) en los que existe una secuencia con respecto a conjuntos de estímulos (bloques) en los que no existe secuencia; y, b) como una disminución progresiva del tiempo de reacción en los bloques secuenciales a lo largo de la tarea. Si esos cambios conductuales resultan de modificaciones en procesos cerebrales que se reflejan en los PREs entonces podrán observarse diferencias en los PREs entre los bloques aleatorios y los secuenciales, así como entre los PREs correspondientes al inicio y al final de una tarea de aprendizaje secuencial.

## 2.1. HIPÓTESIS PARTICULARES

Los TR no serán distintos entre los bloques aleatorios, pero disminuirán progresivamente en los bloques secuenciales subsiguientes, de modo que los TR serán distintos entre los conjuntos de bloques aleatorios y de bloques secuenciales.

El TR en el bloque 11 que es aleatorio se incrementará de manera importante con respecto al TR de los bloques secuenciales anteriores, y disminuirá de nuevo en los dos bloques secuenciales siguientes, confirmando que es la presencia de la secuencia y no la práctica la determinante de la disminución del TR.

Dado que la tarea presentada constituye una situación en la que los participantes tendrán que reconocer y discriminar estímulos además de generar una respuesta, se observará un componente P300 relacionado con la elección de esta respuesta.

El P300 en los participantes variará a lo largo de la tarea siendo más positivo en los bloques secuenciales finales en donde ya se cuenta con un aprendizaje más afianzado de la secuencia y conforme se avance en el número de bloque el P300 tendrá un comienzo más temprano.

Los tiempos de reacción serán menores en los sujetos con aprendizaje explícito que en los sujetos con aprendizaje implícito, y existirán diferencias en las características de los PREs entre ambos grupos de sujetos particularmente el P300 el cual tendrá una menor latencia y mayor voltaje para los sujetos explícitos.

# MÉTODO

## 1. SUJETOS

Los participantes fueron 26 estudiantes de licenciatura o posgrado, con edades entre 18 y 30 años, diestros, con visión normal o corregida, sin diagnóstico de enfermedad neurológica o psiquiátrica. Después de aplicar los criterios de exclusión se analizaron los datos conductuales de 25 y los datos electrofisiológicos de 23 participantes.

### 1.1 CRITERIOS DE EXCLUSIÓN

Se excluyeron aquellos participantes cuyo registro electroencefalográfico fue imposible de analizar debido a artefactos de movimiento o parpadeo que impidieron el análisis de la actividad cerebral y a aquellos con pobre desempeño en la prueba conductual, definido por menos del 33% de respuestas correctas.

## 2. ESTÍMULOS

Los estímulos se presentaron en la pantalla (13.3", fondo negro) de un monitor situado aproximadamente a 60 cm de los ojos del sujeto. Un punto de fijación en el centro de la pantalla siempre estuvo presente. Centrado verticalmente se presentó un cuadro blanco de 1.5 cm de lado en una de cuatro posiciones horizontales, dos a la izquierda y dos a la derecha del punto de fijación. Las posiciones fueron denominadas A, B, C y D (de izquierda a derecha) y las separaciones entre sus centros fueron de 2.5 cm (Figura 6).

## 3. APARATOS

La actividad EEG se registró empleando un equipo Medicid IV (Neuronic). Todas las derivaciones se hicieron en forma monopolar, referidas a los electrodos cortocircuitados de los lóbulos auriculares. Se atenuaron todas las frecuencias por debajo de 0.5 y por encima de 30 Hz en todos los canales, y se mantuvo activo siempre un filtro específico ("Notch Filter") para atenuar las frecuencias de 60 Hz.

La impedancia de los electrodos se midió antes y después de iniciar la sesión experimental. Todos los valores iniciales fueron menores que 5 k $\Omega$  en cada sesión.

Los electrodos se colocaron de acuerdo con el Sistema 10-20 Internacional (Harner y Sannit, 1974) en las derivaciones Fp1, Fp2, F3, F4, F7, F8, C3, C4, P3, P4, T3, T4, T5, T6, O1, O2, Fz, Cz, y Pz. Adicionalmente se colocaron electrodos para registrar los movimientos de los ojos (un electrodo sobre el canto externo del ojo derecho y otro debajo del canto externo del ojo izquierdo).

Los estímulos y los tiempos de reacción se presentaron y registraron mediante el programa EsVis\_W, desarrollado en el laboratorio (Zarabozo, 1998).

#### 4. PROCEDIMIENTO

Antes de iniciar la tarea principal a los participantes se les pidió firmar una carta de consentimiento informado (ver Anexo 1) y responder un cuestionario de datos generales. Después procedieron a realizar la tarea principal, responder las pruebas de evaluación posterior y, finalmente, se les aplicaron tres pruebas psicométricas: la primera fue el Test de Raven de matrices progresivas (Raven, Court, & Raven, 1993), la segunda fue la prueba CLAVES (Seisdedos, 2004) y por último se aplicaron las escalas de atención y memoria del Neuropsi (Ostrosky-Solís, et al., 2003). La aplicación de las pruebas psicométricas se dejó hasta el final de la sesión para evitar que el sujeto intuyera a partir de la naturaleza de estos exámenes la intención de la prueba principal.

Los participantes debieron responder a la aparición del estímulo presionando con la mayor rapidez posible la tecla correspondiente: 'C', 'V', 'N' ó 'M' para las posiciones A, B, C y D del estímulo (Figura 6), respectivamente. La Figura 7 ilustra como fue cada ensayo y las instrucciones detalladas se presentan en el Anexo 2.



Figura 6. Tarea para el registro electroencefalográfico.

La secuencia a seguir fue: D-B-C-A-C-B-D-C-B-A

Se presentaron 13 bloques formados por 100 ensayos cada uno. En los bloques 1 a 3 y 11 las posiciones del estímulo fueron aleatoriamente determinadas (Bloques Aleatorios) mientras que en los bloques 4 a 10, 12 y 13 (Bloques Secuenciales) las posiciones del estímulo siguieron la secuencia D-B-C-A-C-B-D-C-B-A, repetida 10 veces (Nissen y Bullemer, 1987). El final de una secuencia y el inicio de otra no estuvieron diferenciados y el inicio de cada bloque fue una posición diferente de la secuencia con la que comenzó el bloque anterior.

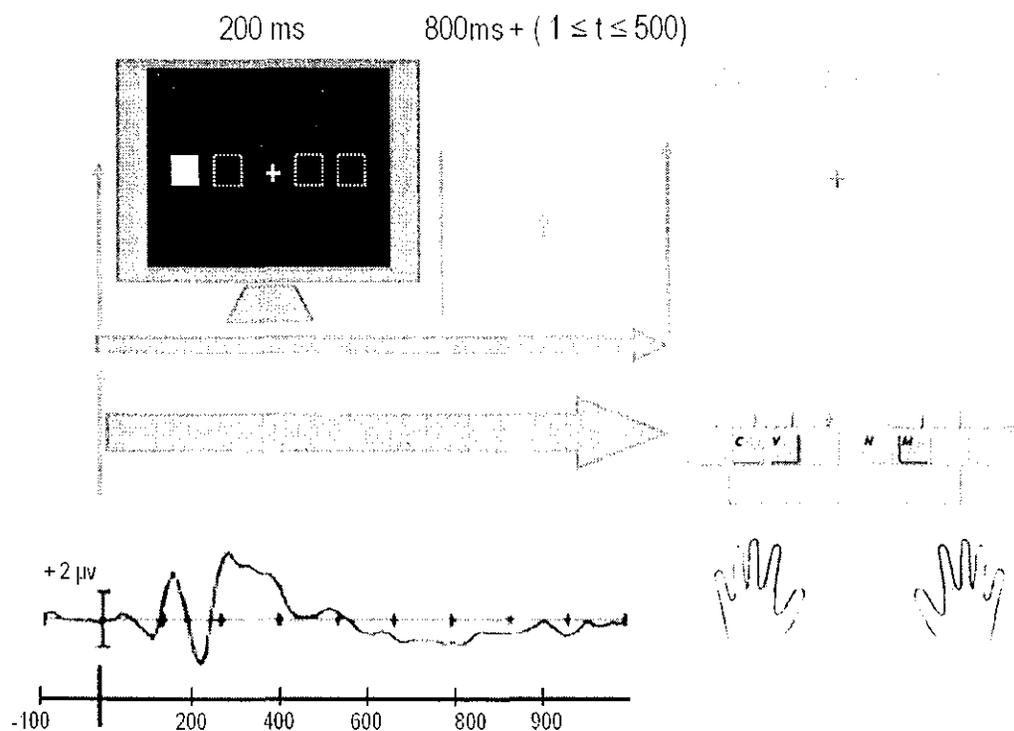


Figura 7. Esquema de la tarea principal

Así, cada uno de estos 13 bloques que conformaron la tarea fue integrado por 100 apariciones del estímulo de manera asincrónica con un SOA (*stimulus onset asynchrony*) entre 1001 y 1500 ms. La importancia de la asincronía radica en evitar en lo posible las respuestas adivinatorias generadas por la estimación temporal del sujeto.

Antes de comenzar el registro de la tarea principal los participantes se desempeñaron en un bloque de ensayo que contenía 50 estímulos sin ninguna secuencia, esto fue implementado para que los sujetos pudieran entender lo mejor posible la manera de responder. Entre los tres primeros bloques aleatorios y el primer secuencial el sujeto contó con 1 minuto de descanso si es que deseó tomarlo. Se ofreció otro minuto de descanso opcional entre los bloques 7 y el 8 y entre cada par de bloques siempre hubo un intervalo de alrededor de 20 segundos.

El investigador estuvo en todo momento dentro del cuarto de pruebas con el participante y anotó cualquier comentario que denotara que el sujeto había apreciado la existencia de la serie.

## 5. PRUEBAS POSTERIORES

Al final de los 13 bloques se le aplicaron a los participante las evaluaciones de aprendizaje; la primera constó de cuatro preguntas en relación a su experiencia:

1. ¿Te pareció difícil la prueba?
2. ¿Utilizaste alguna estrategia para contestar más rápida y correctamente?
3. ¿Encontraste algo particularmente interesante en la prueba que acabas de contestar?
4. Conforme avanzaste en la prueba lo fuiste haciendo mejor y más rápido ¿A qué crees que se deba esto?

Es importante señalar que al inicio del experimento únicamente se aplicaron las 3 primeras preguntas, la cuarta pregunta fue agregada a partir del treceavo sujeto. Las respuestas a las preguntas abiertas sirvieron para calificar el aprendizaje del participante como **explícito** cuando dentro ellas el sujeto declaró haber observado o seguido un orden, secuencia o patrón que le haya ayudado a contestar la prueba (ver Anexo 6). En el mismo sentido cuando el sujeto no era capaz de verbalizar el haber encontrado la secuencia se clasificaba como poseedor de aprendizaje **implícito**. Además, intentamos construir

clasificadores más objetivos que las preguntas mencionadas, como se describe a continuación.

Después de esta evaluación se procedió a aplicar la *prueba de reproducción*, se le entregó al participante una hoja como la mostrada en el Anexo 4 en donde se le pidió dibujar la forma en la que él “intuía” que aparecían los cuadros en los bloques que le fueron presentados.

Posteriormente se le presentó una primera prueba de reconocimiento a la que se le denominó *prueba de reconocimiento en papel* con la que se buscó calificar cómo había sido el aprendizaje del participante de la serie mostrada, (ver Anexo 3). El sujeto debió contestar cuáles de las 6 opciones ahí presentadas correspondían con lo que él había observado en la sesión; sólo 2 de esas opciones correspondían con partes de la secuencia (las respuestas correctas eran B y E).

A continuación el participante contestó una segunda prueba de reconocimiento presentada en el monitor la cual se denominó *prueba de reconocimiento en vivo*, esta evaluación correspondió con la experiencia del individuo en la tarea. Se presentaron 6 secuencias de sólo 5 estímulos cada una, y únicamente dos de esas secuencias correspondieron a lo observado anteriormente (la 2 y la 5); el sujeto no tuvo que responder a la aparición del estímulo, sino que observó la aparición de cada conjunto de 5 estímulos y los calificó como iguales (parecidos) o diferentes a los que observó en la tarea experimental.

Estas tres pruebas fueron calificadas de la siguiente manera: en la *prueba de generación* se contaron el número de estímulos dibujados consecutivamente que correspondían a la secuencia o a alguna parte de la secuencia; el número menor de estímulos que podían constituir un *chunk* (palabra con la que se denominará al conjunto de estímulos en secuencia) fue 3 y se llegó a dar el caso de un participante que tuvo un solo *chunk* de 12 items, con esta prueba de generación se obtuvieron dos calificaciones, una denominada *Longitud del Chunk* que se refiere a la cantidad de estímulos que integran ese *Chunk* y la otra es número de *Chunks*, es decir la cantidad de agrupaciones de estímulos que el sujeto llegó a hacer.

Las dos *pruebas de reconocimiento* se calificaron calculando la proporción entre el número de aciertos (ítems correctos) y el número de ítems señalados como correctos por el participante. Así si alguien eligió 4 ítems y atinó a los 2 correctos tuvo una proporción de 0.5 mientras que otro que haya escogido sólo 2 ítems y ambos fueron correctos obtuvo una proporción de 1.

## **5.1 PSICOMETRÍA**

Se aplicaron a los participantes tres pruebas psicométricas; el Test Raven de Matrices Progresivas (Raven, et al., 1993), la prueba CLAVES (Seisdedos, 2004) y las escalas de atención y memoria del Neuropsi (Ostrosky-Solís, et al., 2003). Se consideró que las correlaciones que pudiesen surgir entre el desempeño conductual del participante y sus resultados en las pruebas podrían ser enriquecedores durante la interpretación de los resultados.

### **5.1.1 TEST DE MATRICES PROGRESIVAS**

El test de matrices progresivas de Raven (Raven, et al., 1993) tiene como objetivo la medición de la capacidad intelectual en términos generales, es decir, mide, sin basarse en otros procesos de adquisición de aprendizaje o memoria, la capacidad de la persona examinada para razonar y realizar comparaciones, no evalúa la capacidad verbal del sujeto para expresar conocimientos. Esta prueba se aplicó con el fin de excluir participantes con inteligencia menor o igual al nivel inferior. De las tres modalidades del test se empleó la de Escalas Generales.

La aplicación de esta prueba en el presente trabajo será de utilidad para poder observar si hubiese alguna relación entre la capacidad intelectual básica del participante y su desempeño en la prueba de reacción serial en el tiempo aplicada.

### **5.1.2 CLAVES**

En este test se pone a prueba la capacidad deductiva del individuo mediante una tarea en la cual el sujeto tiene que responder a 30 reactivos, cada reactivo contiene 6 palabras en español, además de estar escrita la palabra con las letras tradicionales, se muestra escrita también con símbolos, estos son sencillos dibujos en miniatura de objetos

cotidianos que en el contexto de la prueba sirven para codificar las palabras, dadas estas condiciones el examinado tiene que intentar encontrar cual es el símbolo que está representando a determinada letra en cada uno de los reactivos, para lograrlo tiene que encontrar la concordancia entre las palabras escritas de la manera usual con las palabras escritas con la simbología, las cuales se encuentran en desorden en relación a las primeras. El test es de opción múltiple, el participante tiene que escoger una de cuatro posibles soluciones. De acuerdo con los desarrolladores, este instrumento mide la inteligencia fluida del individuo que tiene que ver con aspectos no verbales y en la cual están inmiscuidos procesos como la atención, concentración y memoria de trabajo.

El razonamiento está involucrado en el proceso inductivo-deductivo necesario para hacer las relaciones entre las dos presentaciones de las palabras. La atención y concentración son necesarias para realizar un óptimo trabajo frente a la cantidad de estímulos presentados y su nivel de complejidad. Por último, la memoria de trabajo está implicada porque el sujeto necesita de un acceso rápido a aquellos estímulos ante los cuales acaba de ser expuesto y que tendrá que comparar para poder discriminar entre los demás contenidos y así llegar a la respuesta correcta.

### **5.1.3 NEUROPSI**

La prueba Neuropsi atención y memoria (Ostrosky-Solís, et al., 2003) evalúa funciones como la orientación, atención y concentración, memoria con sus múltiples variantes como, memoria a corto plazo, largo plazo y memoria de trabajo. Además cuenta con la evaluación de las funciones ejecutivas, que aunque esa parte no se aplicará en este experimento, resulta de mucha utilidad en la clínica para poder observar lo más objetivamente posible algún deterioro cognitivo en los individuos.

La utilidad de esta prueba en la presente investigación reside en las posibles correlaciones que pudieran surgir entre las puntuaciones obtenidas para las escalas de atención y concentración y las de memoria en su modalidad de memoria de trabajo, algunas de las pruebas más importantes y en relación con los procesos que se puede pensar están involucrados en la resolución de la tarea de SRTT son las de detección visual,

retención de dígitos en progresión y cubos en progresión, así como las variantes en regresión de los dígitos y cubos.

## **6. ANÁLISIS DE LOS DATOS**

### **Conductuales**

Las diferencias entre tiempos de reacción (TR) a lo largo de la tarea se analizaron con un ANDEVA para un Diseño de Bloques Completos Aleatorizados de 1 factor con 13 niveles (los 13 bloques de ensayos).

Con el objetivo de minimizar variaciones transitorias en un proceso que tiene lugar durante toda la sesión se concentraron los resultados en 3 grupos de tres bloques: el Grupo 1 se formó con los tres primeros bloques (aleatorios) y los otros dos grupos se formaron con bloques secuenciales: el Grupo 2 con los bloques 5, 6 y 7 y el Grupo 3 con los bloques 8, 9 y 10. Esta selección en los bloques para formar los grupos fue para esquematizar de la mejor manera el proceso de aprendizaje: en los primeros tres bloques se tiene la tarea sin el componente secuencial y en los bloques 4 al 10 se tienen ensayos secuenciales sin la interrupción de un bloque aleatorio como sucede con los bloques 11, 12 y 13. Se decidió agrupar al bloque 10 en vez del 4 porque describe mejor el proceso de aprendizaje.

Los datos de los tres Grupos se sometieron a otro ANDEVA de un Factor con tres niveles (Grupos).

Las diferencias entre tipos de aprendizaje se analizaron con un ANDEVA para un Diseño de Bloques Completos Aleatorizados de 1 factor con 13 niveles (los 13 bloques de ensayos) dentro de los sujetos y un factor entre sujetos (explícito e implícito).

Las diferencias entre tipos de aprendizaje utilizando los Grupos fueron analizados con un ANDEVA para un diseño de Bloques Completos Aleatorizados de 1 factor con 3 niveles (Grupos) dentro de los sujetos y un factor entre sujetos (explícito e implícito)

## **Electrofisiológicos**

A partir de la inspección visual de los grandes promedios se seleccionaron para el análisis las 9 derivaciones centrales (F3/4, C3/4, P3/4, Fz, Cz y Pz). Los PREs para cada sujeto, en cada bloque de ensayos, se obtuvieron promediando segmentos de EEG libres de artefactos, correspondientes a respuestas correctas en las posiciones B y C del estímulo (ver Figuras 6 y 7), las ubicaciones más centrales y, por lo tanto, menos influidas por movimientos oculares

Se definieron ventanas temporales para ubicar cada componente de interés y en cada sujeto se obtuvieron los voltajes mínimos o máximos y la latencia de cada componente en la ventana correspondiente: P100 (80-130 ms), N200 (200-300 ms), P200 (150-250 ms) y P300 (250-500 ms). Estos rangos fueron elegidos debido a que corresponden a las latencias reportadas en la literatura y concuerdan con lo observado en el registro actual.

Los promedios individuales fueron formados de 18 a 60 potenciales. Únicamente el 15% de los promedios a lo largo de los nueve bloques considerados para el análisis electrofisiológico estuvo constituido por menos de 40 potenciales. Los promedios individuales formados de pocas muestras como por ejemplo 18, 20 ó 26 se localizaron en los bloques 6 y 8.

Para explorar las diferencias entre bloques y derivaciones se aplicó un Análisis de Varianza para un Diseño de Bloques Completos Aleatorizados con dos factores dentro de grupos: Grupo (3 niveles) y derivación (9 niveles).

Otro ANDEVA fue utilizado para analizar las diferencias entre aprendizaje explícito con dos factores dentro de grupos (Grupos y derivación) y un factor entre Grupos (explícito o implícito). Cuando no fue posible asumir el supuesto de esfericidad se aplicó la corrección de Greenhouse-Geisser, aunque los grados de libertad se expresaron con sus valores originales.

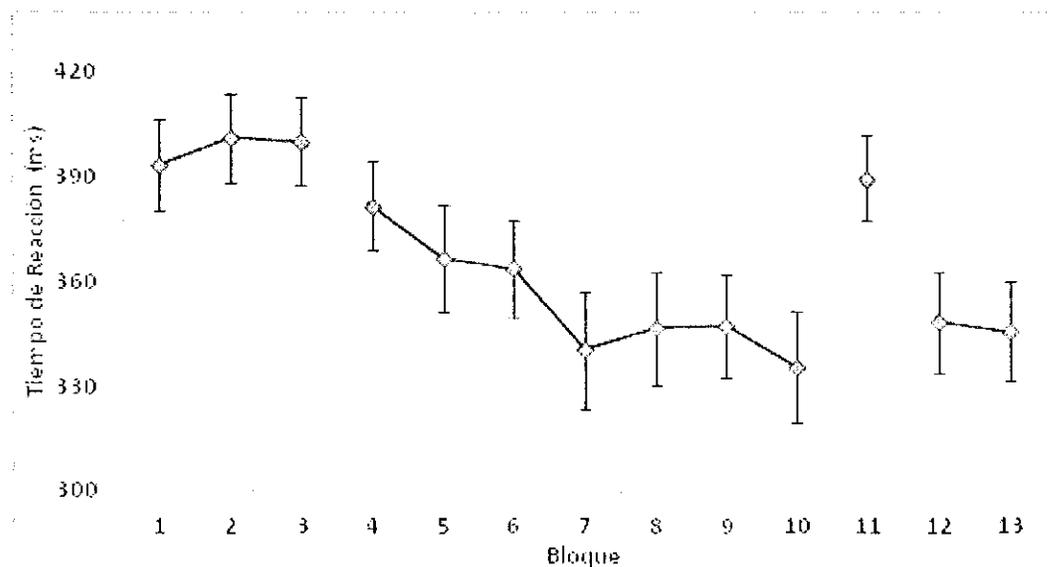
### **Tipos de sujetos**

La muestra total fue dividida en dos tipos de sujetos, aquellos con aprendizaje implícito y aquellos con aprendizaje explícito; esta división se realizó utilizando las respuestas de los participantes a las preguntas abiertas (ver anexo 6). De los 25 participantes, 13 declararon haber seguido, descubierto u observado alguna secuencia o regularidad, estos fueron clasificados como explícitos. Los 12 restantes no hicieron mención de ningún hallazgo parecido por tanto fueron clasificados como implícitos.

# RESULTADOS

## 1. RESULTADOS CONDUCTUALES

En los análisis de la tarea de tiempo de reacción serial (SRTT) se encontraron resultados parecidos a los ya reportados en numerosas ocasiones en la literatura (Boyer, et al., 1998; Deroost & Soetens, 2006; Nissen & Bullemer, 1987). En la Figura 8 puede observarse con mayor detalle el comportamiento del TR a lo largo de los bloques tanto aleatorios como secuenciales que formaron la sesión.



**Figura 8.** Tiempo de Reacción (Media  $\pm$  ESM) por bloque (n=25). Bloques 1 a 3 y 11 aleatorios, Bloques 4 a 10, 12 y 13 secuenciales.

Se observó un decremento en el TR en los bloques 4 a 10 con respecto a los tres primeros bloques, y el TR en el Bloque 11 mostró un valor similar al de los tres primeros Bloques.

Se encontraron diferencias significativas asociadas con el Factor Bloque ( $F_{(12,288)} = 24.658$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = 0.507$ ). Las comparaciones *a posteriori* (Bonferroni,  $\alpha = 0.05$ ) indicaron ausencia de diferencias significativas entre los tres bloques aleatorios, por una parte, y diferencias significativas entre los bloques aleatorios iniciales y los bloques

secuenciales, por la otra. Los Bloques 1 a 3 fueron significativamente distintos de los bloques 5 a 10, 12 y 13 ( $p < 0.03$ ). En el bloque secuencial 4 se obtuvieron diferencias significativas con los bloques 3, 6 a 10, 12 y 13 ( $p < 0.02$ ). El bloque 5 sólo fue diferente significativamente del 10 ( $p < 0.04$ ), el bloque 6 sólo lo fue de los primeros 3 y del bloque 11 ( $p < 0.05$ ). Los bloques 7 a 9 fueron significativamente diferentes de los bloques aleatorios, del bloque 4 y del 11 ( $p < 0.05$ ). La Tabla 3 muestra los valores del TR en cada uno de los Bloques.

**Tabla 3:**  
Tiempo de Reacción (Media y Desviación Estándar) por bloque.

	Toda la muestra (n=25)		Aprendizaje implícito (n=12)		Aprendizaje explícito (n=13)	
	M	DS	M	DS	M	DS
<b>B 1</b>	393	66	414	63	374	62
<b>B 2</b>	401	65	418	64	385	61
<b>B 3</b>	400	62	415	64	387	60
<b>B 4</b>	382	64	395	63	369	66
<b>B 5</b>	367	76	385	74	349	74
<b>B 6</b>	364	70	385	67	344	68
<b>B 7</b>	340	83	378	72	330	88
<b>B 8</b>	347	81	374	65	321	89
<b>B 9</b>	347	73	365	63	331	79
<b>B 10</b>	335	79	357	70	315	84
<b>B 11</b>	390	61	400	71	380	50
<b>B 12</b>	348	73	365	67	332	76
<b>B 13</b>	345	71	363	60	329	80

Para analizar el aprendizaje disminuyendo las variaciones en los bloques de la tarea se procedió a realizar el análisis por Grupos que se ha descrito en el apartado de Análisis de los datos. Se encontraron diferencias significativas entre los Grupos ( $F_{(2,46)} = 47.570$ ,  $p < 0.001$ ,  $\eta^2 = .665$ ) y en las comparaciones *a posteriori* (Bonferroni,  $\alpha = 0.05$ ) se encontró que todos los grupos difirieron significativamente entre sí ( $p < 0.002$ ). La Figura 9 muestra el decremento del tiempo de reacción entre los tres Grupos de bloques.

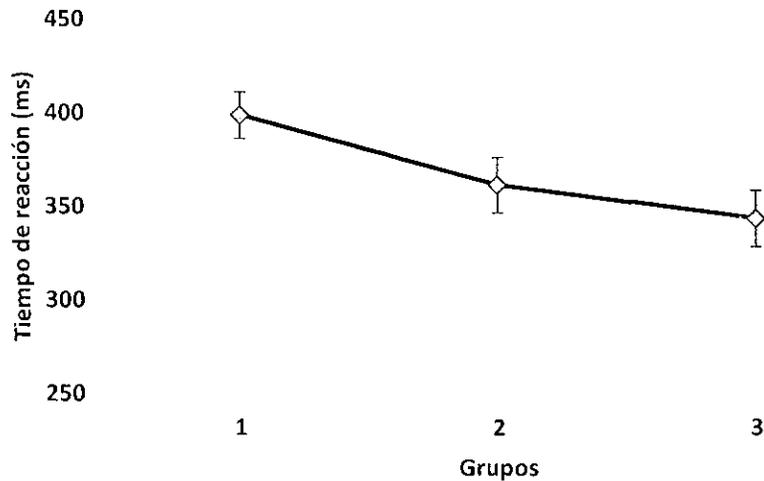


Figura 9. Tiempo de Reacción (Media  $\pm$  ESM) por Grupo (n=25).  
Grupo 1 > 2 > 3 (p < 0.002)

Para investigar las diferencias en el TR entre los sujetos con aprendizaje implícito o explícito se realizó un ANDEVA mixto (Split Plot) con un factor entre sujetos (tipo de aprendizaje) y un factor de medidas repetidas (13 bloques). Ni las diferencias entre los dos tipos de sujetos ( $F_{(1,23)} = 1.868$  p < .185,  $\eta^2 = .075$ ) ni la interacción fueron significativas ( $F_{(12,276)} = 0.96$ , p < 0.48). La diferencia entre los bloques mantuvo su significación ( $F_{(12,276)} = 24.37$  p < 0.001,  $\eta^2 = .514$ ). La Figura 10 muestra los TR de los tipos de aprendizaje a lo largo de la prueba.

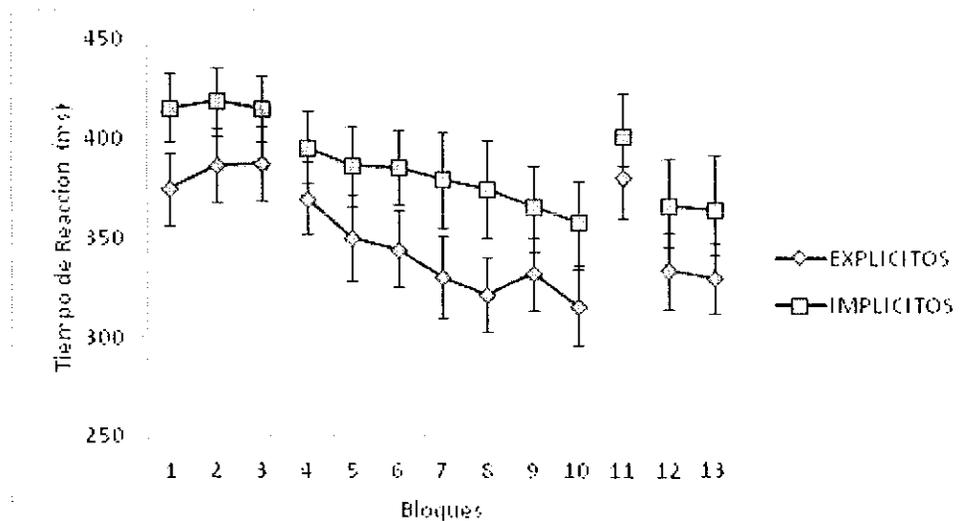


Figura 10. Tiempo de Reacción (Media  $\pm$  ESM) por bloque y por tipo de sujeto (Explícitos n=13, Implícitos n=12)

Al concentrar los datos de bloques en Grupos de la manera ya mencionada (Figura 11) el ANDEVA mixto (Split Plot) no señaló diferencias significativas entre los dos tipos de aprendizaje ( $F_{(1,23)} = 2.16, p < .155, \eta^2 = .086$ ) Los grupos siguieron siendo diferentes ( $F_{(2,46)} = 45.967, p < .001, \eta^2 = .667$ ).

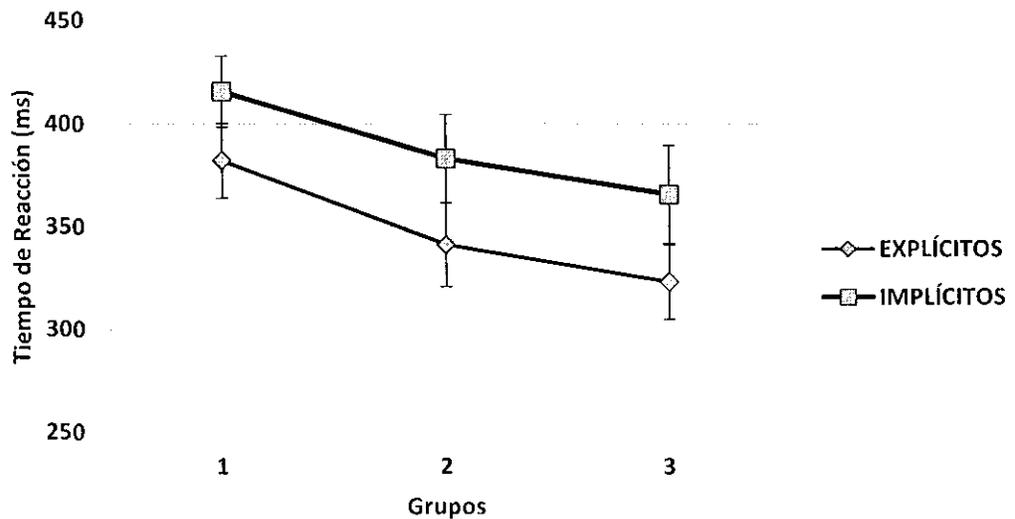


Figura 11. Tiempo de Reacción (Media  $\pm$  ESM) por Grupo y tipo de sujeto. (Explícitos n=13, Implícitos n=12)

En cuanto a los resultados obtenidos en respuestas correctas (ver Tabla 4 y figura 12) el ANDEVA para medidas repetidas con el que se analizó estos datos no mostró diferencia significativa alguna entre los bloques de la tarea ( $F_{(12,276)} = .964, p < .420, \eta^2 = .040$ ), diferencias entre los tipos de aprendizaje implícito y explícito tampoco fueron encontradas ( $F_{(1,23)} = .498, p < .487, \eta^2 = .021$ ).

**Tabla 4.**  
 Respuestas correctas (Media y Desviación Estándar) por bloque.

	Toda la muestra (n=25)		Aprendizaje implícito (n=12)		Aprendizaje explícito (n=13)	
	M	DS	M	DS	DS	M
<b>B 1</b>	92	6	91	8	92	4
<b>B 2</b>	91	8	90	10	92	4
<b>B 3</b>	90	7	88	9	91	4
<b>B 4</b>	92	5	92	5	91	5
<b>B 5</b>	91	8	92	9	90	6
<b>B 6</b>	91	8	90	11	91	5
<b>B 7</b>	89	10	87	13	91	4
<b>B 8</b>	88	11	86	13	90	7
<b>B 9</b>	90	9	88	11	92	6
<b>B 10</b>	89	12	86	15	92	5
<b>B 11</b>	89	7	90	8	89	7
<b>B 12</b>	90	10	89	12	91	7
<b>B 13</b>	90	11	88	14	92	5

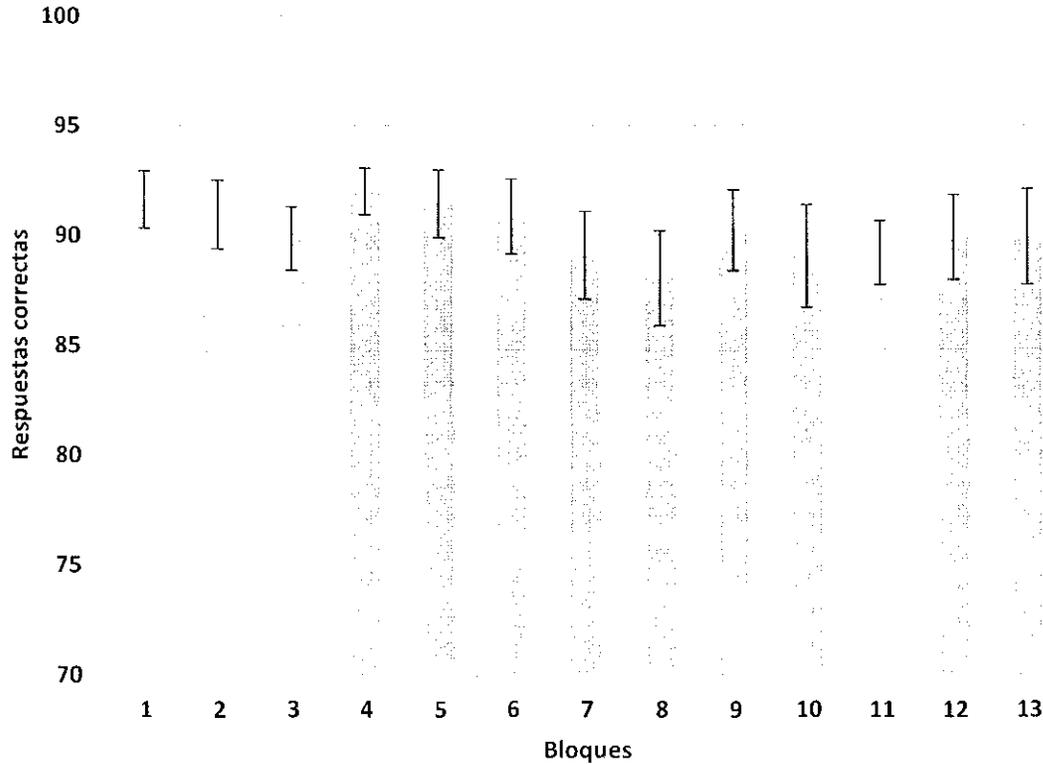


Figura 12. Respuestas correctas (Media  $\pm$  ESM) en cada bloque de estímulos (n= 25).

Se calcularon coeficientes de correlación (r de Pearson) entre las evaluaciones de reconocimiento y generación aplicadas y dos indicadores de aprendizaje (IA1 e IA2) (ver anexo 7). El primer indicador fue generado restando los valores del tiempo de reacción en el Grupo 1 de los valores del Grupo 2 y el segundo se obtuvo de la diferencia del TR del Grupo 1 menos el del Grupo 3.

En la muestra total (n=25) se obtuvo una correlación directa entre la prueba de generación medida en longitud del *Chunk* y las pruebas de reconocimiento en vivo ( $r=.474$ ,  $p < .017$ ) y en papel ( $r=.401$ ,  $p < .047$ ).

Ambos indicadores de aprendizaje mostraron una correlación directa con la longitud del *Chunk*: IA1 ( $r= .631$ ,  $p < .001$ ) y IA2 ( $r=.659$ ,  $p < .001$ ).

Los datos descriptivos completos para la muestra total y los tipos de sujetos en las pruebas psicométricas y las evaluaciones de aprendizaje aplicadas se encuentran en el Anexo 5.

## 2. RESULTADOS ELECTROFISIOLÓGICOS

Se analizó visualmente el trazo de los grandes promedios de los PREs obtenidos en el registro de la actividad eléctrica cerebral durante la tarea SRTT, se tomaron los promedios de los Grupos de bloques (ya anteriormente descritos) en las derivaciones coronales (F3, F4, Fz, C3, C4, Cz, F3, F4 y Fz), esto nos permitió observar el conjunto de componentes que a continuación se describen.

Es observable una primera onda positiva que corresponde al componente P100 a la que sigue una onda negativa (N100). El P100 se puede notar más prominente en derivaciones temporales como T5 y T6 y parietales como P3 y P4. Al ser un componente marcado por la estimulación visual es observable en occipitales. El componente N100 es notable en todas las derivaciones con mayor prominencia en C3, C4, P3 y P4 y no pareció haber algún efecto hemisférico en este componente. La siguiente deflexión fue el P200 que apareció claro en las zonas frontales (F3, Fz y F4,) y más discreto en zonas centrales (C3, Cz y C4). Posterior al P200 se observa el N200; este componente es claramente discernible en las zonas frontales (F3, Fz, F4, ) y levemente encontrado en zonas centrales (C3, Cz y C4). Después del N200 se encontró en todas las derivaciones un componente positivo que posiblemente sea P300, sus mayores amplitudes se encuentran en regiones centro-parietales (C3, C4, P3 y P4) aunque su voltaje en el promedio global decrece notablemente en el sitio Pz. (Figura 13)

En lo que toca a la comparación entre los PREs de participantes clasificados como implícitos o explícitos (Figuras 16, 17 y 18) se observó una amplitud mayor para el P300 en los explícitos en comparación con los implícitos. Esa diferencia fue consistente entre los tres Grupos de Bloques.

El análisis se realizó por componente. Los componentes analizados fueron P100, N100, P200, N200 y P300. Las comparaciones se hicieron utilizando los PREs obtenidos en los tres grupos de bloques mencionados (Grupo 1: Bloques 1, 2 y 3; Grupo 2: Bloques 5, 6 y 7 y Grupo 3: Bloques 8, 9 y 10).



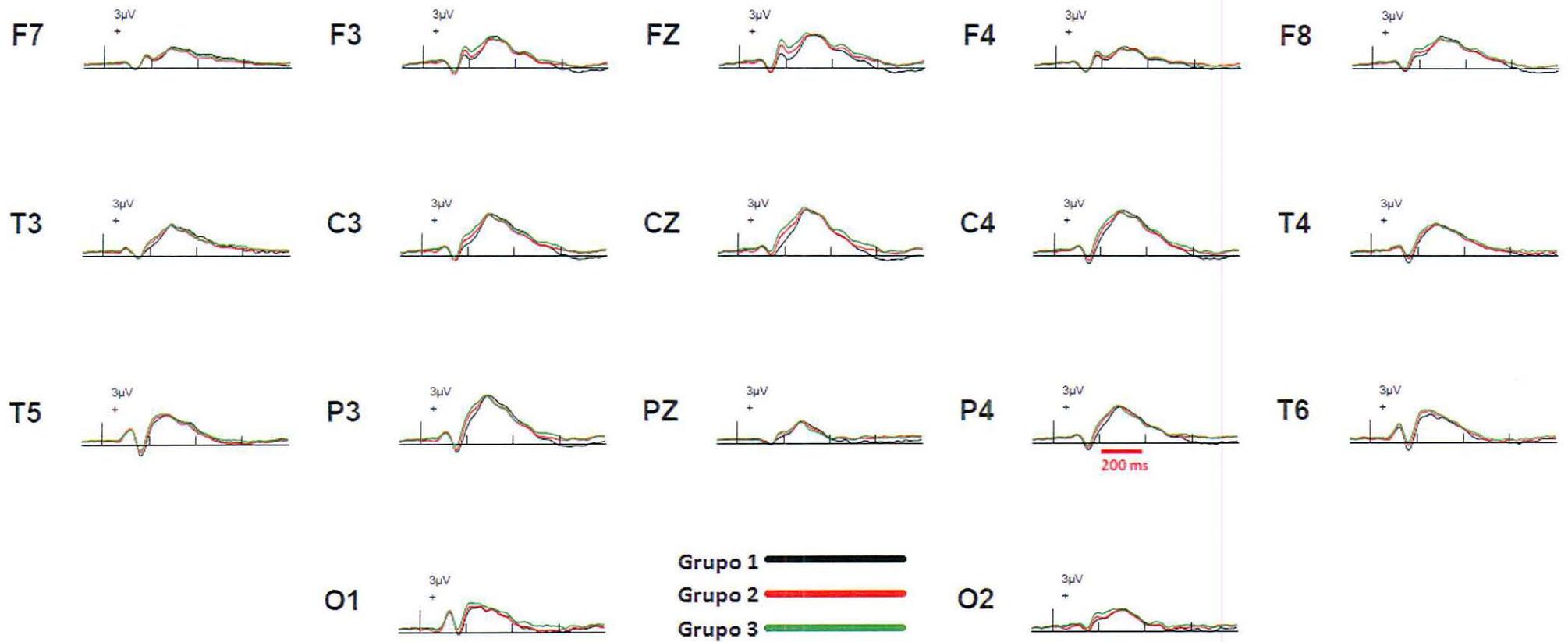
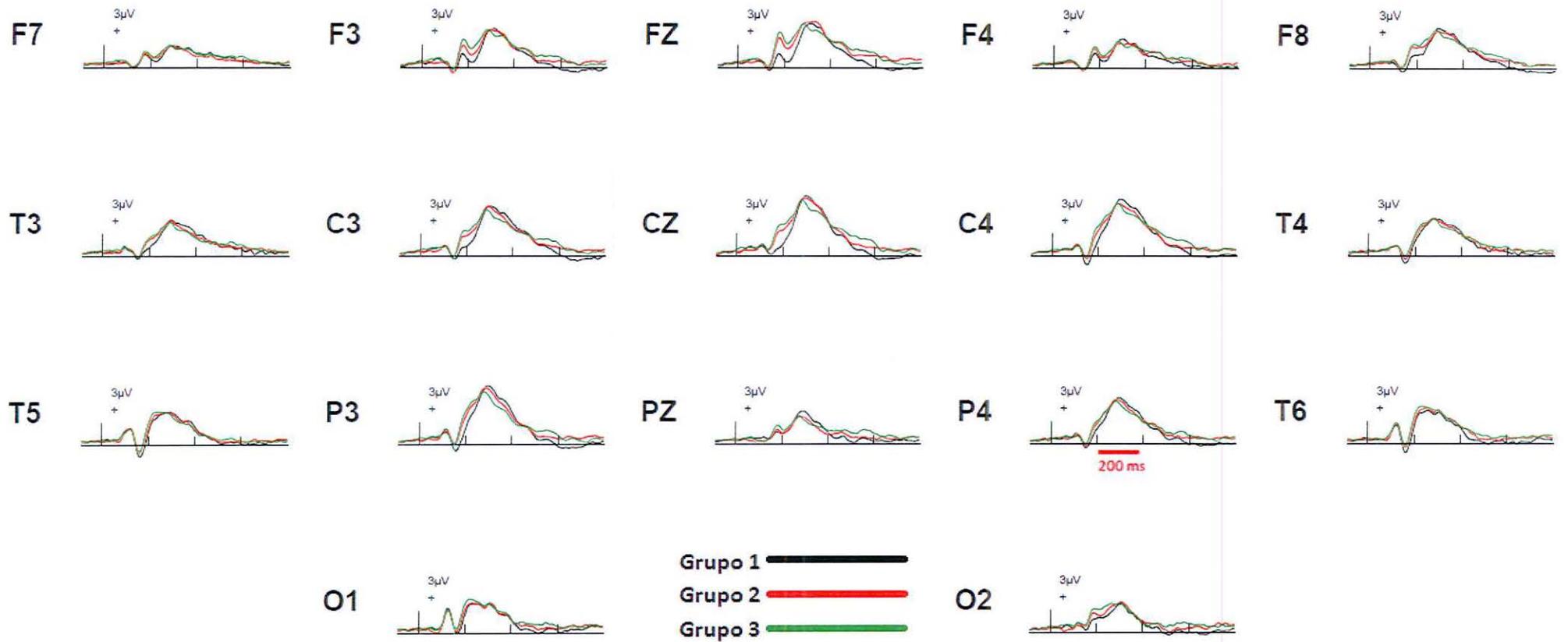


Figura 13. Grandes promedios (todos los sujetos, n = 23) en Grupo 1 (Bloques 1 a 3), Grupo 2 ( Bloques 5 a 7) y Grupo 3 (Bloques 8 a 10)





**Figura 14.** Grandes promedios (Explícitos n = 12) en Grupo 1 (Bloques 1 a 3), Grupo 2 ( Bloques 5 a 7) y Grupo 3 (Bloques 8 a 10).



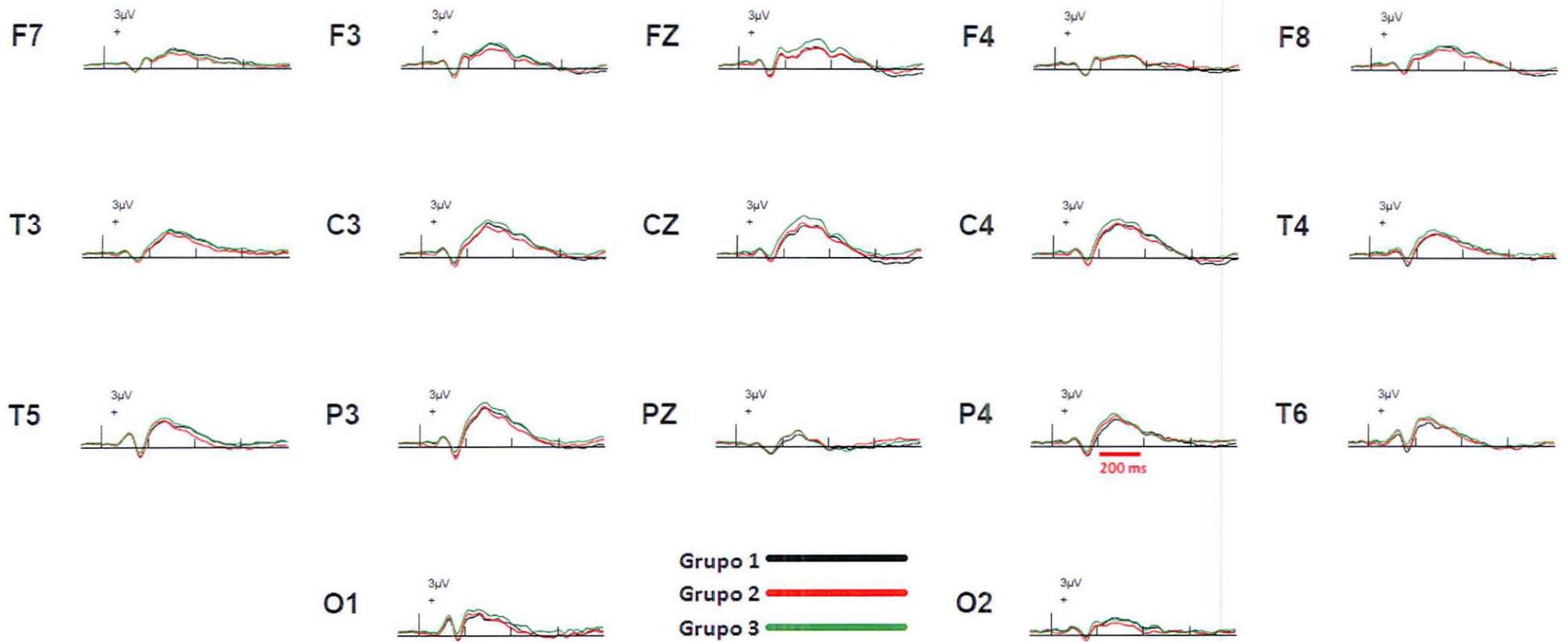


Figura 15. Grandes promedios (Implícitos n = 11) en Grupo 1 (Bloques 1 a 3), Grupo 2 ( Bloques 5 a 7) y Grupo 3 (Bloques 8 a 10)



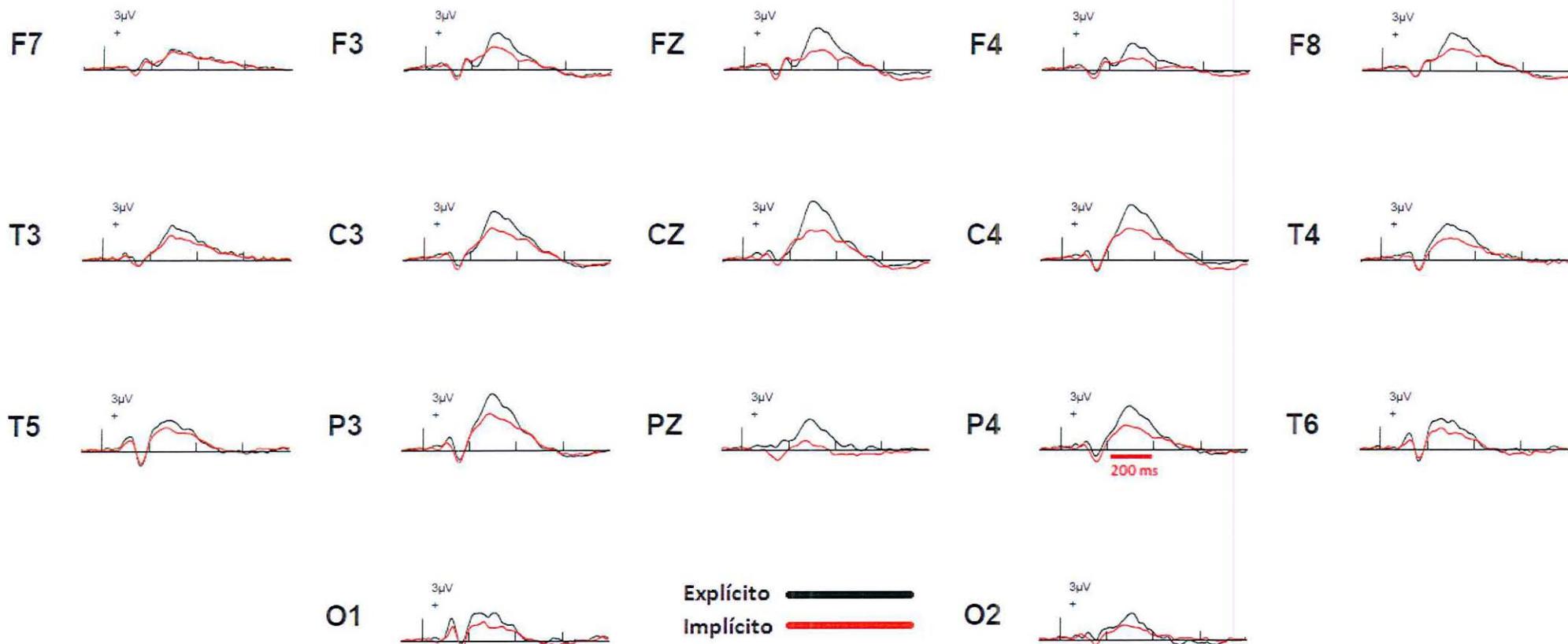


Figura 16. Grandes promedios para los aprendizajes explícito n= 12 e implícito n=11 en el Grupo 1



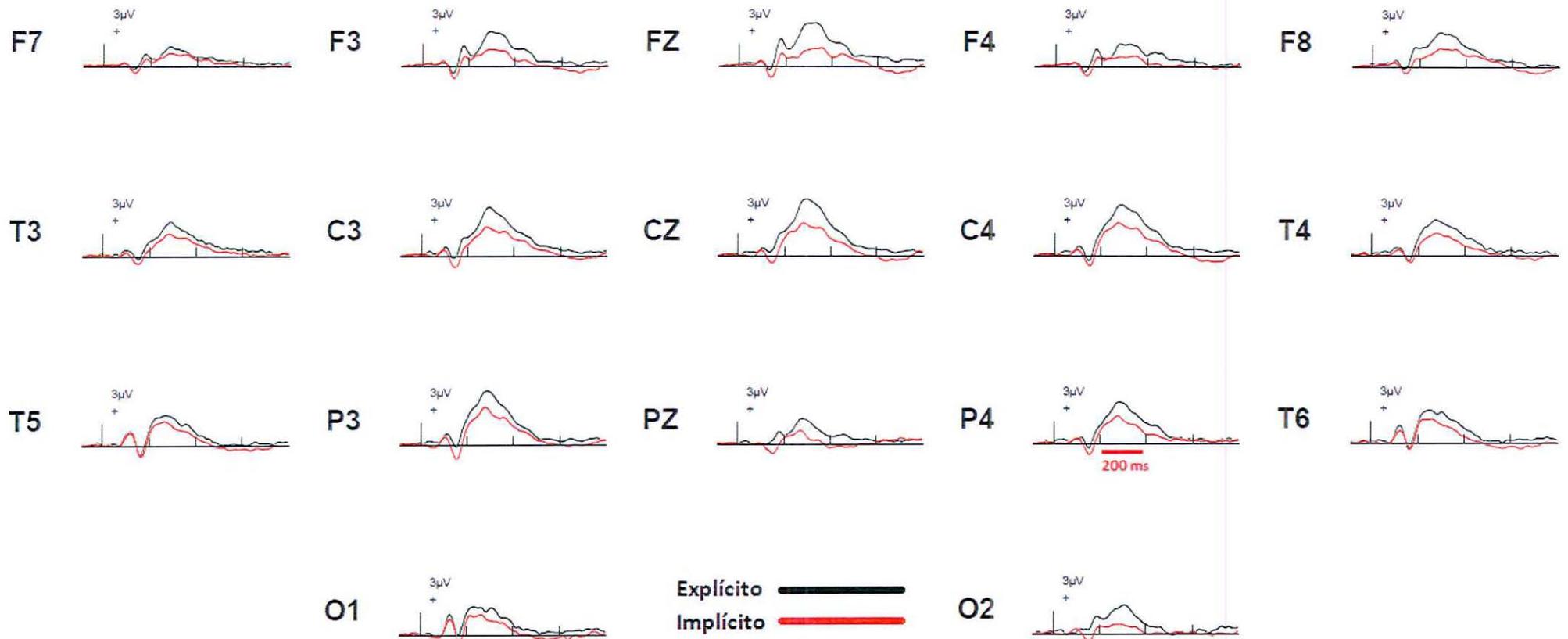


Figura 17. Grandes promedios para los aprendizajes explícito n= 12 e implícito n=11 en el Grupo 2.



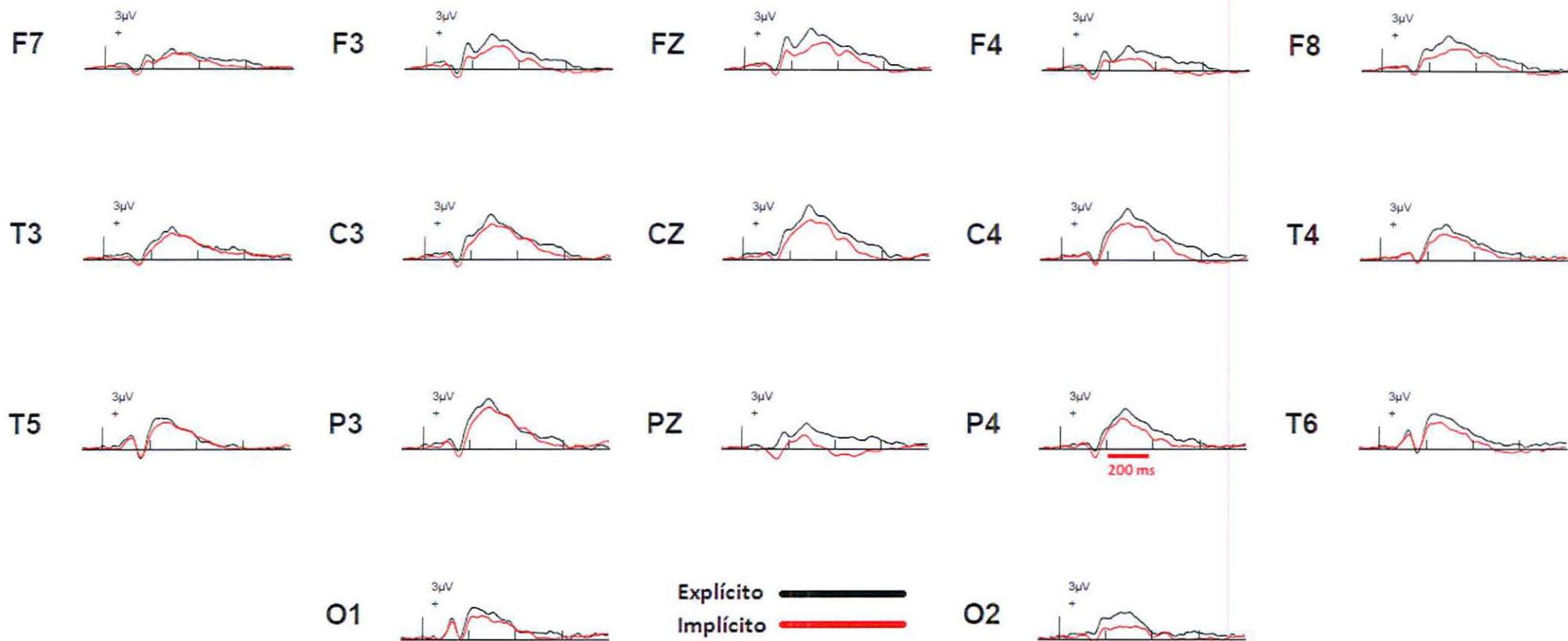


Figura 18. Grandes promedio para los aprendizajes explícito n= 12 e implícito n=11 en el Grupo 3.



Es notable un aumento en el voltaje conforme se avanza en la tarea particularmente en zonas frontales, centrales y parietales (ver Figuras 13, 14 y 15). Este aumento en voltaje es claro para el componente P200 y N200 y más marcado aún para sujetos explícitos que para los implícitos (Figuras 14 y 15). En el grupo de implícitos estos aumentos de voltaje a través de la tarea son notables únicamente para la última fase (bloques 8,9 y 10) y en zonas centro parietales y parcialmente en frontales (Fz, C3, Cz, C4, P3 y P4).

Para la amplitud del componente P100 en el ANDEVA de medidas repetidas de 2 factores dentro de grupos (bloque y derivación) no se obtuvieron resultados significativos para los bloques ( $F_{(2,44)} = .325, p < .725, \eta^2 = .015$ ) pero sí para el factor derivación  $F_{(8,176)} = 5.724, p < .01, \eta^2 = .206$ ).

El mismo tratamiento se aplicó a la latencia de este componente P100 obteniendo resultados parecidos ya que no hubo diferencias significativas entre los bloques ( $F_{(2,44)} = .351, p < .706, \eta^2 = .016$ ), se encontraron diferencias significativas entre las derivaciones ( $F_{(8,176)} = 28.17, p < .001, \eta^2 = .561$ ).

En el voltaje del componente N100 se encontraron diferencias significativas en los bloques ( $F_{(2,44)} = 6.078, p < .005, \eta^2 = .216$  siendo el bloque 1 diferente del 3 ( $p < .002$ ) (ver Figura 19) y no hubo diferencias significativas en las derivaciones ( $F_{(8,176)} = 2.665, p < .076, \eta^2 = .108$ ).

Para la latencia del componente N100 usando el análisis ya mencionado se encontraron diferencias significativas en el factor bloques ( $F_{(2,44)} = 11.817, p < .001, \eta^2 = .349$  siendo todos los grupos diferentes entre sí mismos ( $p < .01$ ), en el Figura 20 se muestran los valores de las medias. En el factor derivación también se encontraron diferencias significativas ( $F_{(8,176)} = 23.668, p < .001, \eta^2 = .518$ ).

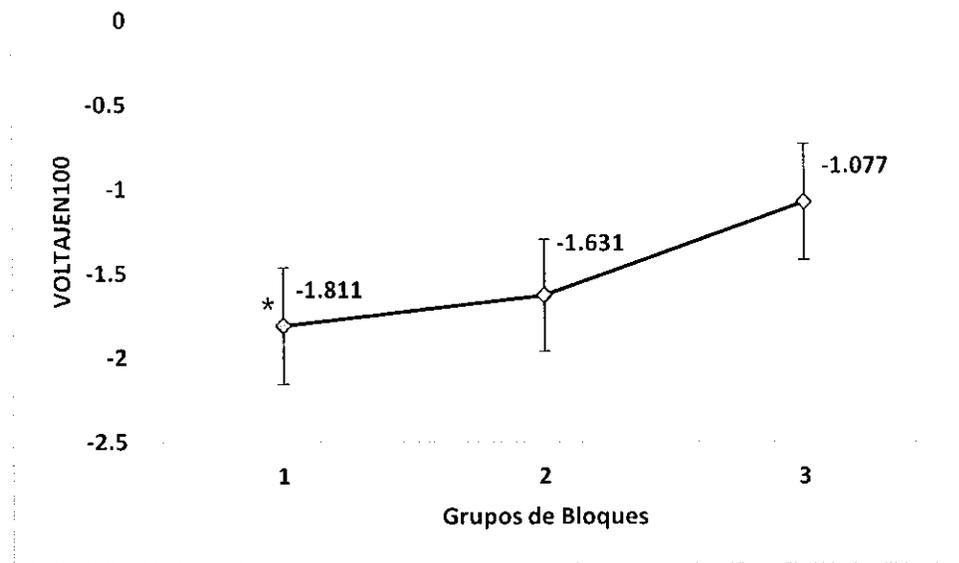


Figura 19. Amplitud del componente N100 en los tres Grupos formados por los bloques.

\*= Grupo 1 significativamente menor que el Grupo 3,  $p < .002$  (N=23)

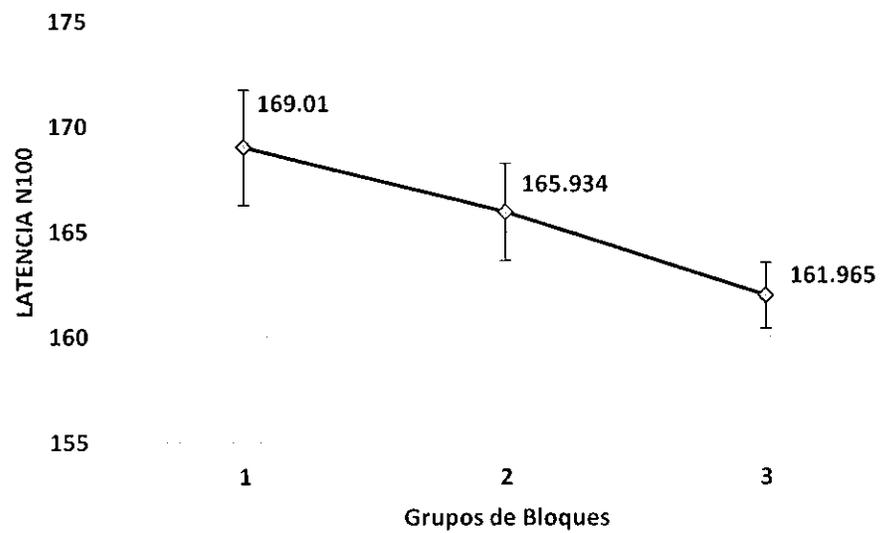


Figura 20. Latencia del componente N100 en los tres Grupos formados por los bloques

Todos los grupos diferentes entre sí ( $p < .01$ ) (N=23)

Con el mismo análisis se procedió a la exploración del componente P200 tanto en latencia como en voltaje. Para los valores de voltaje se obtuvieron diferencias significativas entre los grupos de bloques ( $F_{(2,44)} = 7.728, p < .001, \eta^2 = .260$ ) el grupo 1 obtuvo un valor significativamente menor que el Grupo 3 ( $p < .002$ ), la Figura 21 muestra los valores de voltaje para cada grupo. El factor derivación también mostró diferencias significativas ( $F_{(8,176)} = 7.730, p < .001, \eta^2 = .260$ ).

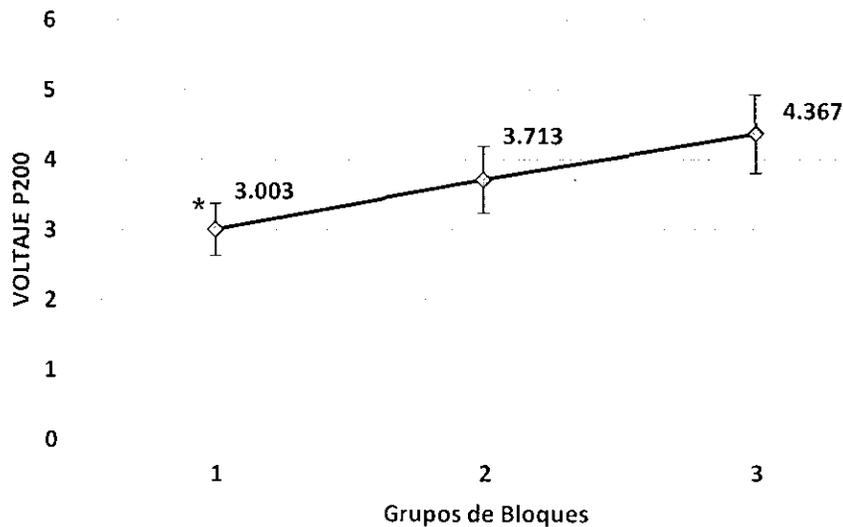


Figura 21. Voltaje del componente P200 en los tres Grupos formados por los bloques.

\*= Grupo 1 significativamente menor que el Grupo 3,  $p < .002$  ( $N=23$ )

En el análisis de la latencia de este componente los grupos de bloques no mostraron ser significativamente diferentes ( $F_{(2,44)} = .635, p < .483, \eta^2 = .028$ ), el factor derivación sí mostró diferencias significativas ( $F_{(8,176)} = 14.725, p < .001, \eta^2 = .401$ ).

En el componente N200 se utilizó el mismo análisis y se encontraron diferencias significativas para los valores de amplitud entre los bloques ( $F_{(2,44)} = 9.809, p < .001, \eta^2 = .308$ ) el Grupo 1 resultó diferente del Grupo 3 ( $p < 0.001$ ). La figura 22 muestra los valores de voltaje para cada grupo. El factor derivación no mostró diferencias significativas ( $F_{(8,176)} = 2.159, p < .135, \eta^2 = .089$ ).

En cuanto a la latencia para este mismo componente no hubo diferencias significativas entre los grupos de bloques ( $F_{(2,44)} = .497, p < .612, \eta^2 = .022$ ) aunque sí entre derivaciones ( $F_{(8,176)} = 33.47, p < .001, \eta^2 = .604$ ).

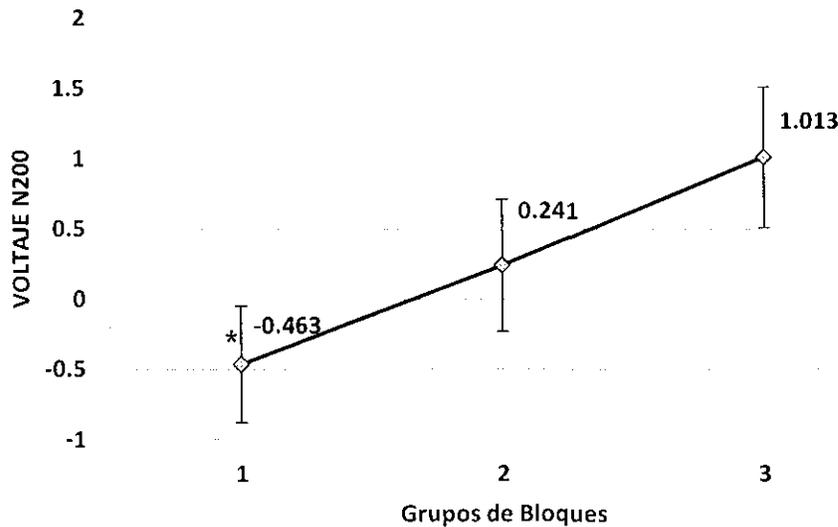


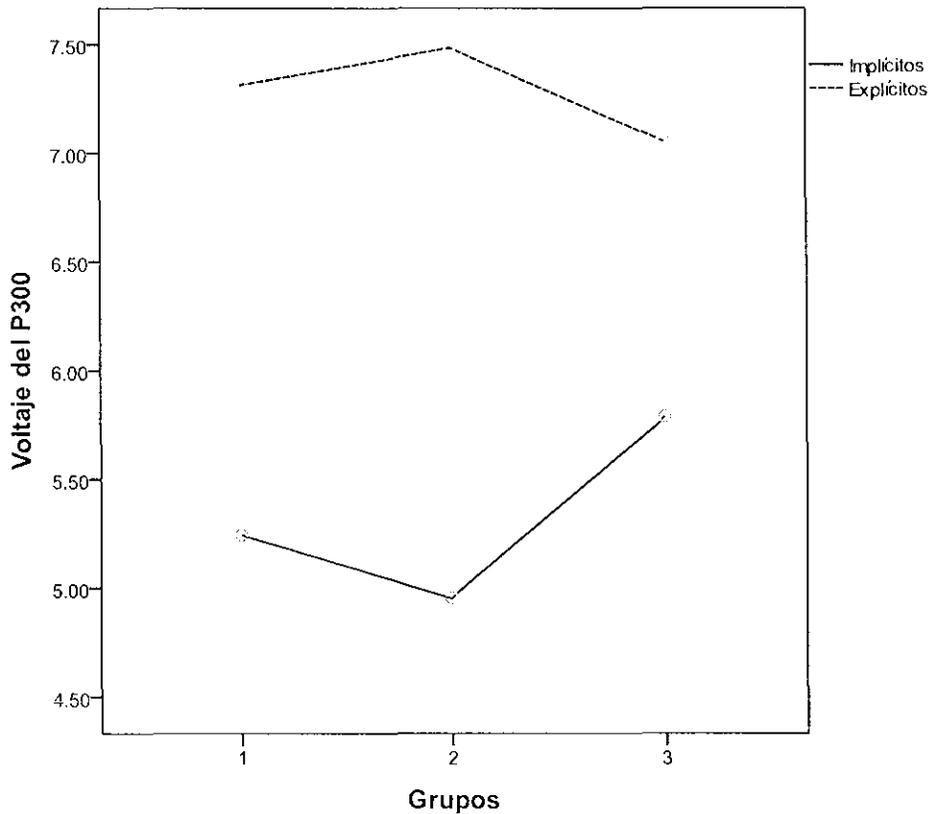
Figura 22. Voltaje del componente N200 en los tres Grupos formados por los bloques.

Grupo 1 significativamente más negativo que el grupo 3:  $p < .001$  ( $N=23$ )

Con el componente P300 usando el mismo análisis ya descrito se obtuvieron los siguientes resultados para el voltaje: no existen diferencias significativas entre los grupos de bloques ( $F_{(2,44)} = .197, p < .816, \eta^2 = .009$ ). En el factor derivación sí existen diferencias ( $F_{(8,176)} = 25.326, p < .001, \eta^2 = .535$ ). En cuanto a la latencia del P300 no se obtuvieron diferencias entre los bloques ( $F_{(2,44)} = .248, p < .781, \eta^2 = .011$ ), el factor derivación mostró diferencias significativas ( $F_{(8,176)} = 5.976, p < .001, \eta^2 = .214$ ).

Al analizar las posibles diferencias entre los tipos de aprendizaje en las latencias y voltajes de los componentes observados nos encontramos con que no hay diferencias significativas entre los dos tipos de aprendizaje para el componente P100, ni en voltaje ( $F_{(1,21)} = 1.41, p < .248, \eta^2 = .063$ ), ni en latencia ( $F_{(1,21)} = .386, p < .541, \eta^2 = .018$ ). En el componente N100 tampoco se encontraron diferencias entre los valores de voltaje ( $F_{(1,21)} = 1.518, p < .231, \eta^2 = .067$ ), ni de latencia ( $F_{(1,21)} = .040, p < .843, \eta^2 = .002$ ) entre el

aprendizaje implícito y el explícito. El análisis del componente P200 tampoco reportó diferencias significativas entre voltaje ( $F_{(1,21)} = .968, p < .336, \eta^2 = .044$ ) o latencia entre los dos tipos de sujetos ( $F_{(1,21)} = .516, p < .481, \eta^2 = .024$ ). En el N200 no fue posible encontrar diferencias entre las dos medidas, tanto voltaje ( $F_{(1,21)} = .565, p < .461, \eta^2 = .026$ ) como latencia ( $F_{(1,21)} = 1.96, p < .176, \eta^2 = .085$ ) no mostraron diferencias significativas entre los grupos. En el análisis del P300 sí se encontraron diferencias significativas entre los valores de voltaje de los grupos implícito y explícito ( $F_{(1,21)} = 5.053, p < .035, \eta^2 = .194$ ) tal como se puede observar en la Figura 23. Para los valores de latencia no se encontraron resultados significativos ( $F_{(1,21)} = .203, p < .657, \eta^2 = .010$ ).



**Figura 23.** Amplitud del P300 en los dos tipos de aprendizaje (Implícitos n=11, Explícitos n=12) para los tres Grupos.



# DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos con nuestra investigación y el análisis de los mismos nos han permitido cumplir nuestro objetivo principal que es el poder relacionar los hallazgos conductuales con los electrofisiológicos; esto nos permite generar una visión más global acerca del aprendizaje secuencial pudiendo relacionar las teorías elaboradas por investigadores en el tema. A continuación discutimos la correspondencia de la conducta observada en los individuos durante el aprendizaje y sus correlatos electrofisiológicos.

La tarea desarrollada por Nissen y Bullemer (1987) descrita en la sección de Tareas para la evaluación del aprendizaje secuencial ha constituido un esquema que ha sido aplicado por múltiples investigadores, pero podemos decir que dentro de estas investigaciones pueden reconocerse tres líneas principales de estudio. La principal y que ha dado pie al desarrollo de las dos consecuentes es la investigación del aprendizaje secuencial (Baldwin & Kutas, 1997; Deroost & Soetens, 2006; Kelly, et al., 2003; Nissen & Bullemer, 1987; Willingham, et al., 1989). Estos trabajos en general estudian el aprendizaje de las regularidades en el ambiente mediante gramáticas o secuencias artificiales que regulan la aparición de la estimulación y que son de ayuda para la generación de la respuesta en el individuo, el aporte principal de este tipo de estudios radica en la descripción que proveen acerca del proceso, los hallazgos conductuales y las interesantes teorías que de ellos se han desprendido.

Es importante mencionar que aunque el aprendizaje secuencial haya tomado fuerza con los trabajos de Nissen y Bullemer éste ya había sido estudiado desde tiempo atrás bajo el nombre de aprendizaje implícito. Reber (1967) fue de los primeros investigadores en tomar el tema, aunque su aproximación fue a partir de la naturaleza implícita con la que se puede presentar este aprendizaje. Fue de esta manera que nació la inquietud acerca del resultado implícito o explícito del aprendizaje y este acercamiento ha proliferado en gran cantidad de estudios (Boyer, et al., 1998; Conway & Pisoni, 2008; Destrebecqz & Cleeremans, 2001; Destrebecqz, et al., 2005; Franco, Cleeremans, & Destrebecqz, 2011; Overgaard, et al., 2010; Perruchet & Vinter, 1998; A. S. Reber, 1967,

1989; P. J. Reber & Squire, 1994; Robertson, 2007; Shanks & Perruchet, 2002; Wierzbicki, Asanowicz, Paulewicz, & Cleeremans, 2012). Algunos utilizaron gramáticas artificiales como lo hacía Reber y otros más tareas SRTT, pero todos ellos estuvieron encaminados a encontrar diferencias entre los sujetos que son calificados como implícitos o explícitos.

Otra de las vertientes encontradas en la literatura aborda el tema buscando las bases neurales del procesamiento ya sea mediante herramientas electroencefalográficas o técnicas de imagen para estudiar la actividad cerebral durante un proceso del aprendizaje secuencial. La mayoría de los trabajos que encontramos en esta área centraron su interés en las diferencias de actividad cerebral entre el aprendizaje implícito y explícito (Baldwin & Kutas, 1997; Eimer, 1997; Ferdinand, et al., 2008; Leuthold & Sommer, 1993).

En el presente trabajo se investigó el proceso del aprendizaje secuencial analizando las respuestas conductuales y electroencefalográficas obtenidas en una tarea de tiempo de reacción serial (SRTT) que requirió que los participantes respondieran a la aparición de un estímulo en cuatro posibles ubicaciones presionando una de cuatro teclas, cada una correspondiente a una ubicación del estímulo. La ubicación del estímulo se rigió por una secuencia en algunos de los trece bloques mientras que en otros (Bloques 1,2,3 y 11) la ubicación era aleatoria.

La tarea empleada en el presente estudio se basó en el mismo esquema que la mayoría de trabajos en el área (Nissen & Bullemer, 1987) pero fue modificada con el objetivo de controlar la variabilidad interindividual que es característica de los trabajos con PREs. La principal modificación consistió esencialmente en que los propios participantes dieron los datos tanto para la situación aleatoria (Bloques 1, 2, 3 y 11) como para la secuencial (Bloques 4 a 10, 12 y 13). Este desarrollo nos permitió las condiciones para abordar el problema de interés: ¿Hay una correspondencia en el desarrollo temporal del proceso de aprendizaje entre la conducta y la actividad eléctrica cerebral? Con base en los resultados obtenidos y en las teorías existentes tanto para el aprendizaje secuencial como para los Potenciales Relacionados con Eventos creemos que así es.

La importancia de utilizar una tarea SRTT para nuestra investigación radicó en su sencillez y en que aun así abarca al aprendizaje secuencial en su totalidad ya que incluye una situación de potencial aprendizaje en la que el individuo puede ser capaz de aprender de la secuencia para disminuir sus tiempos de reacción y aumentar sus respuestas correctas. Dado que este aprendizaje procede paulatinamente en el participante y se observan cambios en la conducta es de esperarse que haya correspondencia con cambios en el sistema nervioso. Los PREs gracias a su alta resolución temporal y a su relación con fenómenos cerebrales tanto sensoriales como cognoscitivos son una herramienta aparentemente idónea para detectar el desarrollo de estos cambios en el transcurso del tiempo en el que va sucediendo el aprendizaje. Debido a que hasta ahora los trabajos encontrados con aprendizaje secuencial y PREs varían en el tipo de tarea que utilizan así como en detalles importantes como la retroalimentación y el tiempo de exposición al estímulo nuestros resultados podrían considerarse exploratorios.

Las tareas de aprendizaje secuencial usadas en la investigación en esta área han variado en función de los objetivos particulares del investigador. En nuestra investigación nos propusimos emplear una tarea lo más sencilla posible tanto en la simplicidad de la secuencia como en la forma de respuesta. También intentamos emular un ambiente natural causal de aprendizaje: al individuo no se le explicó la finalidad de la tarea, ni su naturaleza, únicamente se le pidió responder lo más rápido y correctamente posible. No se le ofreció retroalimentación sobre su desempeño ni tampoco se le dio remuneración alguna por su participación.

En algunos otros estudios se encuentran detalles metodológicos que inciden en el proceso de aprendizaje eficientándolo, aumentando la importancia de la tarea o la motivación del individuo en la misma. En nuestro caso decidimos generar una situación tan limpia que nos permitiese observar la deducción de reglas del ambiente de la manera más transparente posible. En los experimentos de Nissen y Bullemer (1987) y de Eimer et al (1997) el estímulo al que había que responder permanecía en la pantalla hasta que el sujeto diese la respuesta, por lo que se facilitaba la aprehensión de la secuencia. En el caso de Deroost y Soetens (2006) cuando un error era cometido éste era marcado y al

final de cada bloque se daba una retroalimentación que permitía al individuo estar pendiente de sus tiempos de reacción, con lo cual se incrementaba su motivación en la tarea. En la investigación de Ferdinand et al. (2008) cuando no se recibía respuesta en un máximo de 800 ms aparecía un sonido indicando la falta de respuesta y el próximo inicio de otro estímulo, con lo que se estaría motivando al sujeto a dar una respuesta rápida. En el caso del experimento de Baldwin y Kutas (1997) la tarea era ejecutada a lo largo de cinco días con sesiones de dos horas diarias; ante la disminución del tiempo de reacción y el aumento de respuestas correctas los participantes se hacían acreedores a un aumento en la remuneración a recibir y también recibían retroalimentación en cuanto a sus respuestas correctas y TR al final de cada bloque, con lo que se mantenía la motivación.

Los resultados que obtuvimos nos indican el desarrollo del aprendizaje secuencial en los sujetos enfrentados a la tarea, desarrollo marcado por una ausencia de cambios en el TR de los bloques aleatorios iniciales y una disminución del TR a partir del primer bloque secuencial (Bloque 4) y hasta el último bloque secuencial ininterrumpido (Bloque 10). Estos resultados concuerdan con los reportados en el trabajo original de Nissen y Bullemer (1987) y con los de otros autores (Baldwin & Kutas, 1997; Deroost & Soetens, 2006; Eimer, et al., 1996; Ferdinand, et al., 2008; Kelly, et al., 2003). En el bloque 11 que fue un bloque aleatorio intercalado se observó un aumento en el TR, corroborando que la disminución no fue causada únicamente por la práctica, tal como ya habían demostrado Deroost y Soetens (2006). Al realizar el análisis del TR en los Grupos de Bloques se observó con mayor claridad cómo es que esta medida disminuye conforme se avanza en la sesión, y cómo su valor en cada Grupo es significativamente menor que en el Grupo anterior.

Los resultados obtenidos en las Respuestas Correctas nos muestran un alto porcentaje de alrededor del 90% de RC aunque lo que esperábamos era una cantidad consistente a través de los Bloques e incluso se esperaba que el número fuera menor en los bloques iniciales. En los resultados reportados por Nissen y Bullemer (1987) para las respuestas correctas hay un mantenimiento del 98% de RC a partir del bloque 4 lo cual no sucede en nuestra investigación (ver Tabla 4), creemos que esta diferencia en los resultados entre ambos estudios surge de un cambio metodológico ya que en nuestra

tarea el estímulo aparecía únicamente por 200 ms y el participante tenía un tiempo limitado para dar la respuesta, este intervalo era variable y podría ser entre 1000 a 1500 ms, en cambio en el trabajo de Nissen y Bullermer el estímulo aparecía en la pantalla hasta que el sujeto daba la respuesta correcta con lo que se facilitaba que el participante evitara la comisión de errores. Otra variable que creemos que incidió en nuestros resultados es la motivación ya que en nuestro experimento no se ofreció retroalimentación después de cada bloque lo que podría despertar el interés del sujeto para mantener sus RC; de igual manera a ninguno de nuestros participantes se les ofreció algún aliciente para que formaran parte de la investigación (remuneración monetaria, puntos en alguna materia, etc.). También esperábamos que al llegar al Bloque aleatorio 11 las RC disminuyeran pero esto no sucedió así, creemos que esto también obedece en gran parte a que en general la tarea motora era sencilla y aunque la presencia de la secuencia ayudaba a contestar más rápido, la existencia o no del orden no llegó a afectar al participante al nivel de cometer errores en las respuestas sino que al tener que cambiar de estrategia y perder el tiempo ganado por la predicción los TR aumentaban.

Al comparar los resultados entre los sujetos implícitos y explícitos buscando alguna diferencia significativa nos encontramos con que estadísticamente las personas con dichos tipos de aprendizaje no fueron diferentes entre sí ni en RC ni en TR aun cuando en la exploración visual es posible notar valores de TR consistentemente más altos en los sujetos implícitos.

Las correlaciones encontradas para los clasificadores de aprendizaje son muy interesantes ya que muestran relación entre indicadores de aprendizaje (ganancias de TR del primer al segundo Grupo (IA1) y del primer al tercer grupo (IA3)) y evaluaciones de aprendizaje implícito y explícito. La correlación directa entre la *longitud del Chunk* y las pruebas de reconocimiento tanto en vivo como en papel nos habla de una coherencia en las respuestas de estos clasificadores y confirma que tanto con la prueba de generación como con las dos de reconocimiento se está midiendo el mismo aspecto. Con los indicadores de aprendizaje generados se obtuvo una correlación también significativa y directa con la *longitud del Chunk*, este dato podría estar develando una relación entre el

aprendizaje consciente de la tarea (expresado a través del *Chunk*) y la mejora en el TR de la prueba de reacción serial de tal manera que en cuanto más haya sido afianzada la secuencia en la memoria del individuo mejores serán sus tiempos de reacción.

Para explicar el mecanismo que subyace al proceso del aprendizaje secuencial se han desarrollado varias teorías (Ferdinand, Rüniger, Frensch, & Mecklinger; Frensch & Rüniger, 2003; Perruchet & Vinter, 1998; A. S. Reber, 1967). Los resultados del presente estudio nos llevan a pensar que frente a la exposición a una regularidad en el ambiente ante la cual debe generarse una respuesta de elección se enganchan mecanismos atencionales que fortalecen una cadena responsiva estímulo-respuesta (Domjan, 2003), lo cual genera la disminución en los tiempos de reacción conforme avanza la tarea. A la vez que esa cadena se fortalece (de manera mayormente inconsciente) se vuelve más independiente de la estimulación externa y el individuo puede predecir el siguiente estímulo; es por eso que cuando se enfrenta con una situación aleatoria (Bloque 11) la secuencia aprendida, lejos de ayudar, interfiere con la generación de una respuesta rápida, ya que el individuo deberá de inhibir la respuesta que su previo aprendizaje le llevó a predecir. Deberá de abolir la estrategia de aplicar la secuencia para adoptar un nuevo acercamiento al problema (Perruchet & Vinter, 1998).

En nuestra clasificación de aprendizaje explícito e implícito decidimos guiarnos únicamente por las respuestas verbales ya que consideramos la visión de Schacter (1992) acerca de que el aprendizaje explícito es aquel que está disponible para ser verbalizado y que el sujeto es consciente de poseer. Consideramos que las demás pruebas para la evaluación del aprendizaje secuencial aunque son útiles y realmente miden lo aprendido por el participante en la tarea principal, no están dirigidas a dictaminar un aprendizaje que pudiese ser tomado sin equivocaciones como explícito, sino que más bien serían útiles en la creación de un índice de aprendizaje que pudiese colocar a cada participante en una especie de escala de conciencia de lo aprendido, esto, claro, tomando como base las respuestas a las preguntas abiertas. Consideramos que tal medida conciliatoria entre las pruebas de reproducción, generación y preguntas abiertas directas es necesaria, ya que tal como lo postula Reber (1993) el resultado en memoria del aprendizaje secuencial

puede ser abstracto y por lo tanto sobrepasar la capacidad del individuo para explicarlo; aún así la medida no debe ser tan laxa como para permitir que se califique a aquellos incapaces de verbalizar la secuencia como poseedores de aprendizaje explícito.

Nuestros resultados electrofisiológicos mostraron una arquitectura neuro eléctrica que presentó cuatro componentes tempranos: P100, N100, P200 Y N200 y un componente tardío o endógeno: P300 (Fabiani, et al., 2000).

Al tratarse de una tarea visual era de esperarse la presencia de un P100 en particular en zonas occipitales. Las medidas de voltaje y latencia de este componente no cambiaron significativamente a lo largo de la tarea de aprendizaje secuencial. Se han observado modificaciones en este componente debido a cambios en la atención correspondiendo mayores voltajes a aquellos estímulos atendidos (Mangun & Hillyard, 1990) e incluso un mayor voltaje cuando aumenta la atención a una determinada ubicación en el campo visual (Hillyard & Münte, 1984).

En nuestro caso hubiéramos esperado un aumento gradual en este componente si el aprendizaje de la secuencia estuviese dirigiendo la atención del sujeto en momentos tempranos de la estimulación, sin embargo no obtuvimos evidencia de que esto sea así. La distribución del N100 encontrado muestra un componente marcado en todas las derivaciones como es de esperarse. Para ese componente encontramos diferencias en el voltaje entre los Grupos de Bloques, que interpretamos como manifestaciones del aprendizaje de la secuencia.

Se ha encontrado que el N100 aumenta o disminuye en amplitud dependiendo de los recursos atentos asignados al procesamiento del estímulo; en nuestro caso los resultados mostraron un componente que disminuyó significativamente su voltaje del Grupo 1 al Grupo 3. Según la literatura eso se correspondería con una disminución en la atención (Luck, 2005; Mangun & Hillyard, 1990). En la latencia del N100 también se encontraron diferencias significativas entre los Grupos de Bloques siendo ésta paulatinamente más temprana a lo largo de la tarea, lo que podría estar indicando una facilitación del procesamiento sensorial de los estímulos. Esta facilitación sería resultado del aprendizaje de la secuencia que se fue fortaleciendo conforme se avanzó en la tarea.

La razón por la cual la atención estaría decreciendo podría ser por una ganancia en almacén de memoria para la secuencia que estuviese ayudando a predecir la ubicación del estímulo. Así, en un principio sería necesaria una atención sostenida pero cuando se hubiera aprendido la secuencia la tarea se automatizaría, disminuyendo la atención.

La siguiente deflexión de interés para nosotros fue un componente P200 en zonas frontales. Dicho componente se ha relacionado con modulación de la atención, ya que parece aumentar en voltaje cuando el individuo se involucra en una tarea de detección de alguna característica en particular del estímulo (Luck & Hillyard, 1994). El P200 también se ha relacionado con el sistema dopaminérgico de recompensa en la corteza prefrontal medial, ha sido nombrado también P2a o FSP (frontal selection positivity) y se ha demostrado que su voltaje aumenta ante estímulos que son reconocidos como importantes y que han sido identificados perceptualmente como estímulos meta (Potts, et al., 2006).

En estudios de memoria se ha encontrado un aumento de voltaje en P200 ante aquellos estímulos vistos previamente, por lo que puede estar marcando un proceso de comparación del estímulo entrante con el guardado en memoria (Evans & Federmeier, 2006). Nuestros datos mostraron un aumento de amplitud en este componente conforme se avanzaba en la tarea, que podría reflejar un aumento en la importancia del estímulo, ya que conforme se aprende la secuencia los estímulos se vuelven elementos útiles para la preparación de la próxima respuesta. Dado que P100 y N100 no mostraron cambios que concuerden con un aumento de atención a la tarea nos inclinamos por la teoría de que el P200 estaría marcando el reconocimiento del estímulo como un estímulo meta. De esta manera conforme más aprendida está la secuencia se pueden tener más expectativas y mayor amplitud del P200 al concordar la predicción con la estimulación entrante.

El siguiente componente electrofisiológico fue un N200, también observado principalmente en derivaciones frontales. Este componente ha sido relacionado con la detección de estímulos novedosos; ante éstos (principalmente cuando son de diferentes categorías) el N200 aumenta. El N200 en zonas frontales también ha sido relacionado con el control cognitivo o inhibición de respuestas y estaría señalando un monitoreo de la

conducta ante un conflicto para generar la respuesta (Folstein & Petten, 2008). Relaciones entre el N200 y el conflicto en la respuesta o monitoreo de errores han sido reportados en estudios de aprendizaje secuencial; cuando los participantes ya estaban familiarizados con la secuencia y se les comenzaron a presentar bloques de estímulos en los que uno o algunos de los estímulos violaban la secuencia ya aprendida se encontró un N200 más marcado (Eimer, et al., 1996; Ferdinand, et al., 2008). Incluso en el estudio realizado por Eimer et al. (1997) se encontró que aquellos sujetos clasificados como explícitos y que por tanto tenían un conocimiento consciente de la secuencia generaban componentes N200 más negativos ante los estímulos desviantes que aquellos observados en los participantes implícitos bajo las mismas circunstancias.

Si el N200 está indicando un conflicto en la tarea sería de esperarse que si no se incluyen estímulos desviantes este componente mantenga su voltaje o incluso que vaya decreciendo en función de la facilitación de la respuesta. En nuestro estudio encontramos que el voltaje de N200 va disminuyendo a lo largo de la tarea SRTT lo que en teoría estaría demostrando la facilitación de la tarea debido al aprendizaje.

El último componente de interés para nosotros fue una deflexión positiva entre los 250 y 500 ms después de la aparición del estímulo. Este componente parece ser un P300, aunque la tarea utilizada en esta investigación puede ser difícilmente catalogada como un *Odd-ball*, siendo este modelo el que dio origen al descubrimiento del componente (Sutton, et al., 1965). El P300 además de la teoría inicial de la actualización del contexto ha sido relacionado con múltiples aspectos como atención, discriminación o importancia del estímulo presentado (Pritchard, 1981).

En esta investigación esperábamos un cambio gradual en este componente pudiéndolo encontrar más amplio en los bloques finales en comparación con los iniciales debido a un aumento en la importancia de los estímulos dado por el aprendizaje paulatino de la secuencia. También esperábamos una disminución en su latencia, que reflejara una facilitación del procesamiento del estímulo (Polich, 2007). Los resultados no mostraron cambios ni en voltaje ni latencia entre los Grupos de Bloques pero sí se encontró una diferencia entre la amplitud del P300 de los sujetos explícitos y los implícitos: el voltaje del

componente fue mayor para el grupo explícito. Existen trabajos en los que se ha relacionado el P300 con procesos de memoria, encontrando que ante estímulos previamente memorizados se generan P300 con mayor voltaje cuando el sujeto reconoce el estímulo conocido entre estímulos novedosos (Pritchard, 1981).

En un experimento de predicción (Donchin, Kubovy, Kutas, Jhonson, & Herning, 1973) se encontró que conforme los sujetos tenían más información para predecir la aparición del estímulo la amplitud del P300 aumentaba. Si durante la tarea de SRTT el individuo se va haciendo de la secuencia de tal manera que le es útil y la tiene que mantener en memoria para poder obtener mejores resultados en su ejecución es posible que esté manteniendo su atención en esa secuencia abstraída y que esté inhibiendo otros procesos para poder mantener el orden de los estímulos y utilizarlos en su beneficio; dicha inhibición estaría generando un P300 más amplio según la teoría de Polich (2007).

Este componente fue observado en zonas centro-parietales, por lo que si se tratara de un P3b podría corresponder a procesos de almacén en memoria. Dado que estuvo presente en los tres Grupos de Bloques que conformaron la tarea y en todos los sujetos, suponemos que marca el procesamiento del estímulo, considerando que los estímulos van ganando importancia conforme se va descubriendo la secuencia. Creemos entonces que el voltaje sostenido de este componente indica el mantenimiento de la información para poder eficientar la ejecución de la respuesta.

Si en verdad nuestros resultados conductuales y electrofisiológicos son compatibles ¿Cómo es que lo son? y más aún ¿Qué nos dicen sobre el proceso de aprendizaje secuencial observado?

El aprendizaje secuencial lo encontramos reflejado en nuestros resultados conductuales como una disminución gradual del tiempo de reacción en los bloques secuenciales. Cuando el factor secuencia fue removido los tiempos de reacción se elevaron hasta parecerse a aquellos obtenidos en los primeros bloques aleatorios. El paulatino decremento de los TR fue acompañado de cambios en la actividad cerebral, también graduales a lo largo de la tarea.

De acuerdo con la interpretación tentativa de los resultados encontrados podemos decir que el aprendizaje secuencial estudiado mediante una tarea SRTT involucra procesos atentos y de memoria mientras el organismo ejecuta la tarea, de tal manera que uno de los componentes que ha sido relacionado con procesos de atención como el N100, decrece durante la sesión por una facilitación o automatización de la respuesta, debida a la consolidación gradual del engrama en memoria que incluso facilita el procesamiento sensorial lo cual está marcado por la disminución de la latencia en el componente N100.

La facilitación de la tarea implica obviamente una disminución en el conflicto para generar las respuestas lo cual se observó con el decremento gradual del N200. Habiendo una mayor confianza al usar la secuencia para generar las respuestas los estímulos toman mayor importancia como predictores, lo cual podría estar siendo marcado por el aumento del P200 y por la presencia del P300 y, más aún, este último componente podría estar reflejando una inhibición de otros procesos para mantener la secuencia en memoria de trabajo, esta estrategia parece estar más marcada en el aprendizaje explícito ya que este grupo obtuvo los valores más amplios para el P300 (Folstein & Petten, 2008). Nuestro componente P300 parece ser un P3b, éste ha sido relacionado con operaciones de memoria en áreas temporo parietales y se ha comprobado que al menos una parte de la actividad reflejada en el P3b está originada en el hipocampo (Polich, 2007). Una investigación que hizo una exploración del aprendizaje secuencial con fMRI mostró que durante la adquisición de la secuencia la activación del hipocampo y corteza circundante fue significativa (Schendan, Searl, Melrose, & Stern, 2003).



# CONCLUSIONES

Utilizando las respuestas conductuales y la actividad eléctrica cerebral nuestra investigación mostró, durante una tarea de tiempo de reacción serial, el impacto que puede tener una regularidad en el ambiente sobre el desempeño de los organismos. El sistema nervioso humano está preparado filogenéticamente para beneficiarse de las regularidades al introyectarlas y modificar su conducta para prepararse a ellas, es decir para aprender. Por medio de la percepción, atención y memoria el ser humano logra cierto grado de conciencia de lo aprendido para ponerlo en práctica y mejorar su comportamiento, adaptarlo.

Con los resultados obtenidos encontramos una alta precisión a las respuestas desde bloques tempranos sin importar que la situación fuera aleatoria o secuencial, los cambios generados por la regularidad se encontraron en el tiempo de reacción siendo éste consistentemente menor al avanzar en la tarea. Se descartó que este efecto fuera debido a la práctica, ya que las respuestas a un bloque aleatorio intercalado se asociaron con mayor tiempo de reacción. En la comparación de estos datos entre los participantes con aprendizaje implícito y explícito encontramos valores de TR menores para el grupo explícito, aunque esta diferencia no fue significativa estadísticamente.

En los componentes tempranos encontramos una disminución de voltaje y latencia en el N100, lo que nos indica una disminución en la atención a la tarea y una mayor facilidad para el procesamiento sensorial del estímulo. El P200 mostró un aumento de voltaje gradual durante la sesión reflejando una modulación dada por el reconocimiento del estímulo (corroboración de la predicción) y por la importancia del estímulo para la resolución de la tarea. El componente N200 disminuyó su voltaje a través de la tarea, por lo que concluimos que indica una facilitación para la emisión de la respuesta, facilitación generada por el aprendizaje de la secuencia. En cuanto al componente P300 encontrado postulamos que refleja la inhibición de otros procesos que pudiesen estar incidiendo en el mantenimiento de la información de la secuencia y por tanto en la aplicación de la misma.

El hecho de que este componente haya sido encontrado más prominente en sujetos explícitos que en implícitos apoya esta hipótesis, ya que en el aprendizaje explícito se posee más información de la regularidad y el individuo está más conciente de su estrategia por lo que le otorga más importancia.

El proceso del aprendizaje secuencial es básico para la supervivencia de los organismos. Aun así no es fácil de entender y varias teorías se han desarrollado al respecto. Tiene la cualidad de poder llegar a ser explícito y dada esta variante muchas de las investigaciones al respecto se han desbordado en intentar explicar lo que es un aprendizaje implícito y sus diferencias con el explícito, lo que ha llevado a un debate al respecto aun cuando no se tienen en claro los mecanismos para el aprendizaje secuencial básico. El procesamiento de las regularidades en el ambiente en el sistema nervioso humano parece partir de la conjunción de mecanismos de atención y memoria que permiten al individuo discriminar estímulos, elegir estrategias y asentar un aprendizaje. Estamos seguros que muchas otras variables se encuentran presentes en el proceso de aprendizaje. Una de ellas puede ser la motivación y la manera en la que esta variable afecta debe ser positiva, pero esto únicamente podrá ser corroborado y explicado por estudios futuros.

El estudio presentado otorga bases conductuales y electrofisiológicas para la investigación de este interesante fenómeno que es el aprendizaje secuencial mostrando que las relaciones entre las medidas conductuales y las de la actividad eléctrica cerebral están relacionadas de tal manera que mientras que el tiempo de reacción disminuye gradualmente también existen cambios correspondientes en los correlatos electrofisiológicos.

## Anexo 1

### CARTA DE CONSENTIMIENTO INFORMADO

Guadalajara, Jalisco a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ de 2010

Por este medio hago constar mi consentimiento para participar en una investigación llevada a cabo en el Laboratorio de Psicofisiología de Procesos Perceptuales del Instituto de Neurociencias de la Universidad de Guadalajara.

Entiendo que mi participación consistirá en contestar una tarea sencilla en un ordenador mientras mediante un método indoloro y no invasivo de registro electroencefalográfico se registra mi actividad eléctrica cerebral. El aplicador me ha informado que los resultados tanto del registro como de los resultados de las pruebas psicométricas son solamente para fines de esta investigación y que si yo lo requiero puedo saber los resultados.

Se me ha explicado que si en el transcurso de la prueba decido ya no querer continuar, puedo retirarme en cualquier momento.

\_\_\_\_\_

Nombre

\_\_\_\_\_

Firma

## Anexo 2

### INSTRUCCIONES

Para contestar la tarea que te será presentada es importante pongas mucha atención en las siguientes instrucciones, es primordial que prestes mucha atención durante el transcurso de toda la tarea y pongas empeño en contestar correctamente.

En la pantalla del computador observarás una pequeña cruz roja al centro, esta cruz estará presente durante toda la tarea y al lado derecho e izquierdo de la misma irá apareciendo un cuadro blanco, este cuadro se puede posicionar sólo en un lugar a la vez, los lugares posibles para la aparición de éste son: extrema izquierda, izquierda, derecha y extrema derecha, tal como se puede observar en la siguiente imagen.



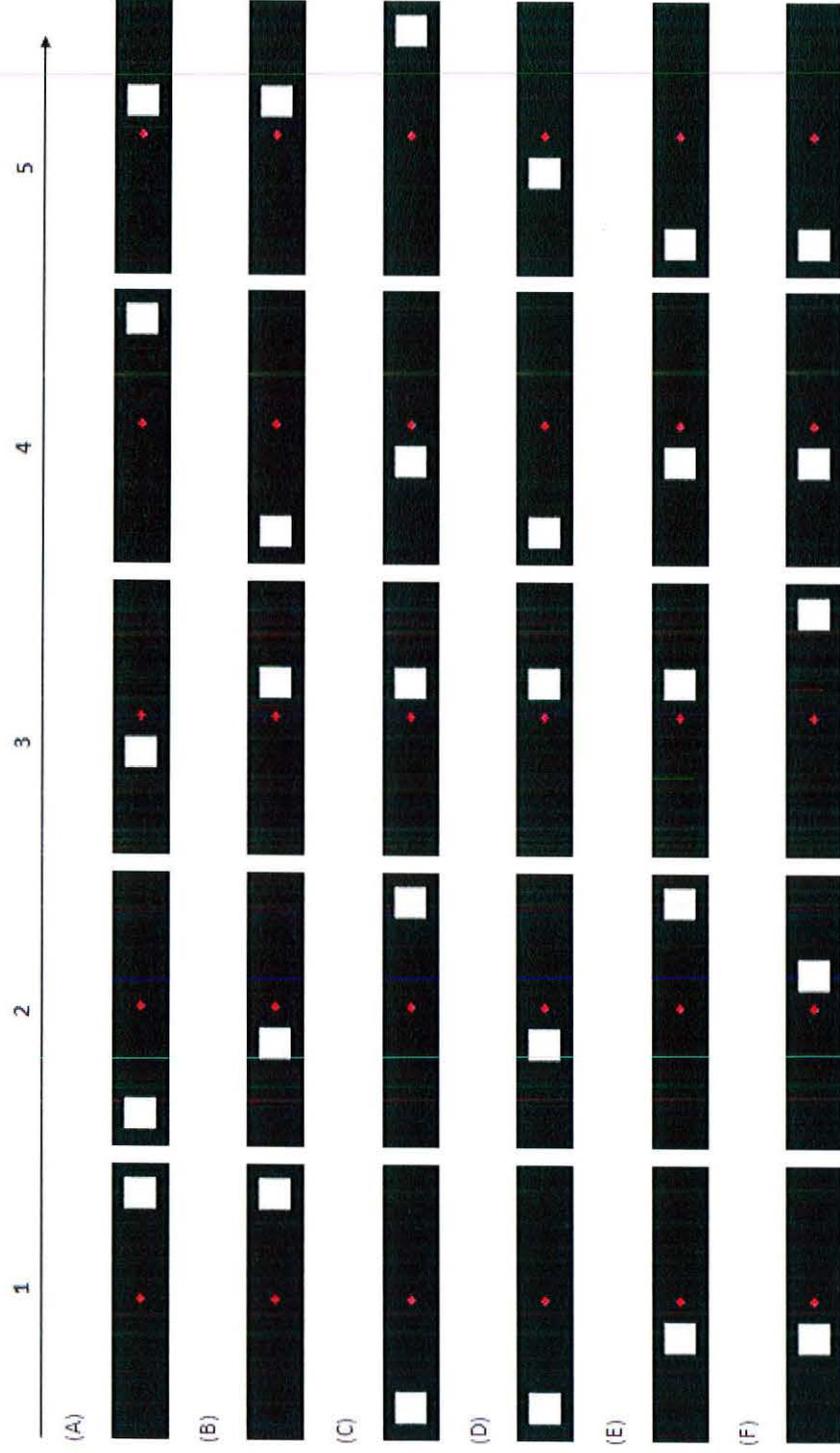
La forma en la que responderás a la aparición del cuadro blanco en alguna de las cuatro posiciones posibles será presionando una de cuatro teclas, estas son: C,V,N o M, que se encuentran en la parte inferior del teclado por encima de la barra espaciadora. Cuando el cuadro esté en la extrema izquierda presionarás la tecla C, cuando se encuentre en la izquierda presionaras V, al estar en la derecha oprimirás N y si aparece en la extrema derecha responderás con M.

Deberás responder lo más rápido posible e intentar cometer los mínimos errores, si en alguno te equivocas no te preocupes ni intentes corregirlo, simplemente sigue contestando.

MUCHAS GRACIAS POR TU PARTICIPACIÓN

### Anexo 3

Aparición:



Anexo 4

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

+

Anexo 5

Tabla 5:

Estadísticas descriptivas de las pruebas psicométricas y evaluaciones de aprendizaje en la muestra final (n=25).

		Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	Muestra
	Número de chunks	2.08	.640	1	3	25
	Longitud del chunk	5.04	2.669	3	12	25
	Evaluación en papel	.42	.19	0	.66	25
	Evaluación en vivo	.52	.25	0	1	25
	IA1	37.42	27.84	-8.5	133.8	25
	IA2	55.12	35.18	-11.79	139.19	25
	Raven	50.24	7.120	28	60	25
	Claves	43.76	20.903	0	71	25
	Orientación	7.00	.000	7	7	25
PRUEBAS DEL NEUROPSI	Dígitos en progresión	6.52	.918	5	8	25
	Cubos en progresión	6.32	.945	4	8	25
	Detección visual	19.64	3.187	13	24	25
	Detección de dígitos	9.32	.802	7	10	25
	Series sucesivas	1.80	1.118	0	3	25
	Dígitos en regresión	4.36	1.075	2	7	25
	Cubos en regresión	5.76	.970	4	7	25

**Tabla 6:**

Estadísticos descriptivos de psicometría y evaluaciones de aprendizaje para el grupo implícito (n=12).

		Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	Muestra
	Número de chunks	2.08	.669	1	3	12
	Longitud del chunk	3.83	1.749	3	9	12
	Evaluación en papel	.393	.187	0	.66	12
	Evaluación en vivo	.45	.242	0	1	12
	IA1	32.75	19.41	-8.50	62.15	12
	IA2	50.46	18.70	25.79	88.97	12
	Raven	53.08	5.807	44	60	12
	Claves	46.50	19.631	0	71	12
	Orientación	7.00	.000	7	7	12
<b>PRUEBAS DEL NEUROPSI</b>	Dígitos en progresión	6.75	.866	5	8	12
	Cubos en progresión	6.00	.853	5	7	12
	Detección visual	19.58	3.476	13	24	12
	Detección de dígitos	9.08	.793	7	10	12
	Series sucesivas	1.92	1.165	0	3	12
	Dígitos en regresión	4.33	1.231	2	7	12
	Cubos en regresión	5.75	.965	4	7	12

**Tabla 7:**

Estadísticos descriptivos de psicometría y evaluaciones de aprendizaje para el grupo implícito (n=13).

		Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo	Muestra
	Número de Chunks	2.08	.641	1	3	13
	Longitud del Chunk	6.15	2.940	3	12	13
	Evaluación en papel	.45	.19	0	.66	13
	Evaluación en vivo	.59	.27	.25	1	13
	IA1	41.72	34.1	7.01	133.80	13
	IA2	59.42	45.96	-11.76	139.19	13
	Raven	47.62	7.411	28	57	13
	Claves	41.23	22.499	0	71	13
	Orientación	7.00	.000	7	7	13
<b>NEUROPSI</b>	Dígitos en progresión	6.31	.947	5	8	13
	Cubos en progresión	6.62	.961	4	8	13
	Detección visual	19.69	3.038	13	24	13
	Detección de dígitos	9.54	.776	8	10	13
	Series sucesivas	1.69	1.109	0	3	13
	Dígitos en regresión	4.38	.961	3	7	13
	Cubos en regresión	5.77	1.013	4	7	13

Tabla 8

Respuestas a las preguntas abiertas que constituyeron el criterio para separar la muestra en tipos de aprendizaje

1. ¿Te pareció difícil la prueba?
2. ¿Utilizaste alguna estrategia para contestar más rápida y correctamente?
3. ¿Encontraste algo particularmente interesante en la prueba que acabas de contestar?
4. Conforme avanzaste en la prueba lo fuiste haciendo mejor y más rápido ¿A qué crees que se deba esto?

SUJETO	EXP/IMP	PREGUNTA 1	PREGUNTA 2	PREGUNTA 3	PREGUNTA 4
SUJ 1	EXP	No	No	Seguían un patrón que cambiaba 3 veces	
SUJ 2	IMP	No	Concentrarme más en los botones	Me pareció muy larga	
SUJ 3	IMP	Más o menos	Solo me concentré	No, nada	
SUJ 4	EXP	No	Fui siguiendo un patrón lógico	Un patrón	
SUJ 5	IMP	No	No	No, me pareció al azar	
SUJ 6	IMP	No	No	No	
SUJ 7	IMP	Algo	Buscar cual se repetía más	No, nada relevante	
SUJ 8	IMP	No, sólo tediosa	Me empecé a querer imaginar cual seguía	No	
SUJ 9	EXP	No	Memorizar el patrón	Nada más el patrón	
SUJ 10	EXP	Un poco	Tener en mente el orden en que salían	Nada	
SUJ 11	EXP	No	Sí, aprenderme la secuencia	No	
SUJ 12	IMP	No	Mientras más te concentrabas en el centro era más fácil	No	
SUJ 13	IMP	No	Creí que era repetitivo y quise hacer una trama pero no era así	No	Porque empecé a dominar la tarea

SUJ 14	EXP	No	Memoricé el <b>orden</b> de los cuadritos	No	Por la práctica con los botones
SUJ 15	EXP	No	Seguir <b>la secuencia</b>	<b>La secuencia</b>	Porque había más cofianza por <b>la secuencia</b>
SUJ 16	EXP	Al principio	Tratar de seguir <b>la secuencia</b>	<b>La secuencia nada más</b>	Por experiencia, práctica con la presentación
SUJ 17	IMP	No	Aunque observaba algunos patrones trataba de no seguirlos	La cantidad de bloques	A la habituación a tener los ojos abiertos y a reaccionar para responder más rápido.
SUJ 18	EXP	No	Seguir <b>la secuencia</b> del cuadrito blanco	Lo del parpadeo	Porque seguía la secuencia se me hizo más fácil
SUJ 19	IMP	No	Guiarme por el sonido, de ahí en más nada. Intenté ver patrones pero no había.	La cruz que aparecía en medio	Por la concentración
SUJ 20	IMP	No	No apretar el botón hasta estar seguro	Es cansado estar concentrado	Por la habituación al ejercicio
SUJ 21	EXP	No	Como que tenía cierto <b>patrón</b> la aparición	No	Porque fui viendo <b>el patrón</b> y fui suponiendo el que seguía
SUJ 22	EXP	No	No	No	Porque al principio era más expectativa y después le agarré la lógica a <b>la secuencia</b> .
SUJ 23	EXP	No	Poner el dedo más cerca de la tecla para poder pulsar más rápido	No	Porque ya me estaba aprendiendo <b>la secuencia</b> aunque me equivoqué porque me estaba durmiendo.
SUJ 24	IMP	No	Ver el centro	Se enfocaba en la destreza mental	Porque te vas acostumbrando a veces ya era el mismo ritmo
SUJ 25	EXP	No	No	No, solo que se <b>seguían</b>	Eso, de que se <b>seguían como en orden</b> .

Tabla 9

Matriz de intercorrelaciones entre pruebas posteriores e indicadores de aprendizaje

		Número de chunks	Longitud del chunk	Proporción reconocimiento en papel	Proporción reconocimiento en vivo	Indicador de aprendizaje 1	Indicador de aprendizaje 2
Número de chunks	Pearson Correlation	1	-.538**	-.118	-.156	-.289	-.320
	Sig. (2-tailed)		.006	.573	.456	.161	.118
	N	25	25	25	25	25	25
Longitud del chunk	Pearson Correlation	-.538**	1	.401	.474	.631**	.659**
	Sig. (2-tailed)	.006		.047	.017	.001	.000
	N	25	25	25	25	25	25
Proporción reconocimiento en papel	Pearson Correlation	-.118	.401	1	.175	.225	.129
	Sig. (2-tailed)	.573	.047		.403	.279	.539
	N	25	25	25	25	25	25
Proporción reconocimiento en vivo	Pearson Correlation	-.156	.474	.175	1	.257	.213
	Sig. (2-tailed)	.456	.017	.403		.215	.307
	N	25	25	25	25	25	25
Indicador de aprendizaje 1	Pearson Correlation	-.289	.631**	.225	.257	1	.780**
	Sig. (2-tailed)	.161	.001	.279	.215		.000
	N	25	25	25	25	25	25
Indicador de aprendizaje 2	Pearson Correlation	-.320	.659**	.129	.213	.780**	1
	Sig. (2-tailed)	.118	.000	.539	.307	.000	
	N	25	25	25	25	25	25

# REFERENCIAS

- Agam, Y., & Sekuler, R. (2007). Interactions between working memory and visual perception: An ERP/EEG study. *Neuroimage*, 36(3), 933-942.
- Aguado, L. (1999). *Learning and memory*. Paper presented at the Basic Neuropsychology.
- Alcaraz, V. M. (2001). Mecanismos cerebrales del aprendizaje simple y complejo. In V. M. R. Alcaraz & E. Gumá (Eds.), *Texto de neurociencias cognitivas* (pp. 143-191). México, D.F.: Manual Moderno.
- Andreas, B. G. (1978). *Psicología experimental*. México: Limusa.
- Andreassi, J. L. (2000). *Psychophysiology. Human behavior and physiological response* (4th ed.). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Baddeley, A. (2000). The episodic buffer: a new component of working memory? *Trends in Cognitive Sciences*, 4(11).
- Baldwin, K. B., & Kutas, M. (1997). An ERP analysis of implicit structured sequence learning. *Psychophysiology*, 34, 74-86.
- Boettiger, C. A., & D'Esposito, M. (2004). Frontal networks for learning and executing arbitrary stimulus-response associations. *The Journal of Neuroscience*, 25(10), 2723-2732.
- Boyer, M., Destrebecqz, A., & Cleeremans, A. (1998). The serial reaction time task: Learning without knowing, or knowing without learning? *Proceedings of the 20th Annual Conference of the Cognitive Science Society*, 167-172.
- Bromberg-Martin, E. S., & Hikosaka, O. (2009). Midbrain dopamine neurons signal preference for advance information about upcoming rewards. *Neuron*, 63, 119-126.
- Brunia, C. H. M., & Damen, E. J. P. (1988). Distribution of slow brain potentials related to motor preparation and stimulus anticipation in a time estimation task. *Electroencephalography and clinical Neurophysiology*, 69, 234-243.
- Carlson, N. R. (2006). *Fisiología de la conducta* (8a ed.). Madrid.
- Carretié, L., Mercado, F., Tapia, M., & Hinojosa, J. A. (2001). Emotion, attention, and the "negativity bias", studied through event-related potentials. *International Journal of Psychophysiology*, 41, 75-85.

- Conway, C. M., & Pisoni, D. B. (2008). Neurocognitive basis of implicit learning of sequential structure and its relation to language processing. *Annals of the New York academy of sciences*(1145), 113-131.
- Correa, M. (2007). Neuroanatomía funcional de los aprendizajes implícitos: asociativos, motores y de hábito. *Revista de Neurología*, 44(4), 234-242.
- Deroost, N., & Soetens, E. (2006). Short article. The role of response selection in sequence learning. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59(3), 449-456.
- Destrebecqz, A., & Cleeremans, A. (2001). Can sequence learning be implicit? New evidence with the process dissociation procedure. *Psychonomic Bulletin & Review*, 8(2), 343-350.
- Destrebecqz, A., Peigneux, P., Laureys, S., Degueldre, C., Del Fiore, G., Luxen, A., et al. (2005). The neural correlates of implicit and explicit sequence learning: interacting networks revealed by the process dissociation procedure. *Learning and Memory*,
- Domjan, M. (2003). *The principles of learning behavior* (5a ed.).
- Donchin, E. (1984). Dissociation between electrophysiology and behavior -A disaster or a challenge? *Cognitive Psychophysiology: Event -Related Potentials and the study of cognition* (pp. 107-114). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Donchin, E., Kubovy, M., Kutas, M., Jhonson, R., & Herning, R. I. (1973). Graded changes in evoked response (P300) amplitude as a function of cognitive activity. *Perception & Psychophysics*, 14(2), 319-324.
- Eimer, M. (1997). An event-related potential (ERP) study of transient and sustained visual attention to color and form. *Biological Psychology*, 44, 143-160.
- Eimer, M., Goshchke, T., Schlaghecken, F., & Stürner, B. (1996). Explicit and implicit learning of event sequences: Evidence from event-related brain potentials. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 22(4), 970-987.
- Evans, K. M., & Federmeier, K. D. (2006). The memory that's right and the memory that's left: Event -related potentials reveal hemispheric asymmetries in the encoding and retention of verbal information. *Neuropsychologia*, 45(8), 1777-1790. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2006.12.014.
- Fabiani, M., Gratton, G., & Coles, M. G. (2000). Event-related brain potentials. Methods, theory and applications. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of psychophysiology* (pp. 53-84). New York: Cambridge.

- Ferdinand, N. K., Mecklinger, A., & Kray, J. (2008). Error and deviance processing in implicit and explicit sequence learning. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(4), 629-642.
- Ferdinand, N. K., Runger, D., Frensch, P. A., & Mecklinger, A. Event-related potential correlates of declarative and non-declarative sequence knowledge. [doi: DOI: 10.1016/j.neuropsychologia.2010.05.013]. *Neuropsychologia*, *In Press, Uncorrected Proof*.
- Folstein, J. R., & Petten, C. V. (2008). Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: A review. *Psychophysiology*, 45(1), 152-170.
- Franco, A., Cleeremans, A., & Destrebecqz, A. (2011). Statistical learning of two artificial languages presented successively: how conscious? *Frontiers in Psychology*. doi:10.3389/fpsyg.2011.00229
- Frensch, P. A., & Runger, D. (2003). Implicit learning. *Current Directions in Psychological Science*, 12(1), 13-18.
- Guma, E. (2001). La memoria humana *Texto de neurociencias cognitivas* (pp. 195-234). Guadalajara: Manual moderno.
- Guma, E., & González, A. A. (2001). Los potenciales relacionados con eventos cognitivos. In V. M. R. Alcaraz & E. Guma (Eds.), *Texto de neurociencias cognitivas* (pp. 413-439). México, D.F.: Manual Moderno.
- Hannula, D. E., Federmeier, K. D., & Cohen, N. J. (2006). Event-related Potential Signatures of Relational Memory. *J Cong Neurosci*, 18(11), 1863-1876.
- Hillyard, S. A., & Kutas, M. (1983). Electrophysiology of cognitive processing. *Ann. Rev. Psychol*, 34, 33-61.
- Hillyard, S. A., & Munte, T. F. (1984). Selective attention to color and location: An analysis with event-related brain potentials. *Perception & Psychophysics*, 36(2), 185-198.
- Jentsch, I. (2004). Independent component analysis separates sequence-sensitive ERP components. *International Journal of Bifurcation and Chaos*, 14(2), 667-678.
- Kandel, E. R., Kupfermann, I., & Iversen, S. (2000). Learning and memory *Principles of neural science* (4th ed., pp. 1227-1245): McGraw-Hill Medical.
- Kelly, S. W., Burton, A. M., Riedel, B., & Lynch, E. (2003). Sequence learning by action and observation: Evidence for separate mechanisms. *British Journal of Psychology*, 94, 355-372.

- Leuthold, H., & Sommer, W. (1993). Stimulus presentation rate dissociates sequential effects in event-related potentials and reaction times. *Psychophysiology*, *30*, 510-517.
- Luck, S. J. (2005). *An introduction to the event-related potential technique*. Cambridge: The MIT press.
- Luck, S. J., & Hillyard, S. A. (1994). Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search. *Psychophysiology*, *31*, 291-308.
- Mangun, G. R., & Hillyard, S. A. (1990). Electrophysiological studies of visual selective attention in humans. In A. B. Scheibel & A. F. Wechsler (Eds.), *Neurobiology of higher cognitive function* (Vol. 29, pp. 271-295). New York: Guilford Press.
- Martín, R. S., Manes, F., Hurtado, E., Isla, P., & Ibañez, A. (2010). Size and probability of rewards modulate the feedback error-related negativity associated with wins but not losses in a monetarily rewarded gambling task. *Neuroimage*, *51*, 1194-1204.
- Meneses, S. (2001). Neurofisiología de la atención: potenciales relacionados a eventos. In V. M. R. Alcaraz & E. Gumá (Eds.), *Texto de neurociencias cognitivas* (pp. 81-108). México, D.F.: Manual Moderno.
- Nissen, M. J., & Bullemer, P. (1987). Attentional requirements of learning: Evidence from performance measures. *Cognitive Psychology*, *19*, 1-32.
- Noudoost, B., Chang, M. H., Steinmetz, N. A., & Moore, T. (2010). Top-down control of visual attention. *Current opinion in Neurobiology*, *20*, 1-8.
- Öhman, A., Hamm, A., & Hugdahl, K. (2000). Cognition and the autonomic nervous system. Orienting, anticipation and conditioning. In J. T. Cacioppo, L. G. Tassinary & G. G. Berntson (Eds.), *Handbook of Psychophysiology* (pp. 533-575). New York: Cambridge.
- Ostrosky-Solís, F., Gómez, M. E., Matute, E., Roselli, M., Ardila, A., & Pineda, D. (2003). *Neuropsi atención y memoria 6 a 85 años*. México: American Book Store.
- Overgaard, M., Timmermans, B., Sandberg, K., & Clereemans, A. (2010). Optimizing subjective measures of consciousness. *Consciousness and cognition*. doi:10.1016/j.concog.2009.12.018
- Perruchet, P., & Vinter, A. (1998). Learning and development. In M. A. Stadler & P. A. Frensch (Eds.), *Handbook of implicit learning*. Londres: Sage.
- Polich, J. (2007). Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b. *Clinical Neurophysiology*, *118*, 2128-2148.

- Potts, G. F., Martin, L. E., Burton, P., & Montague, P. R. (2006). When Things Are Better or Worse than Expected: The Medial Frontal Cortex and the Allocation of Processing Resources. *Journal of cognitive neuroscience*, 18(7), 1112-1119.
- Pritchard, W. S. (1981). Psychophysiology of P300. *Psychological Bulletin*, 89(3), 506-540.
- Rachlin, H. (1976a). Classical Conditioning. *Behavior and Learning* (pp. 155-207). New York: W.H. Freeman.
- Rachlin, H. (1976b). Instrumental Conditioning: Basic Principles. *Behavior and Learning* (pp. 227-287). New York: W.H. Freeman.
- Raven, J. C., Court, J. H., & Raven, J. (1993). *Test de matrices progresivas. Escalas coloreada, general y avanzada*. México: Editorial Paidós SAICF.
- Reber, A. S. (1967). Implicit learning of artificial grammars. *Journal of verbal learning and verbal behavior*, 6, 855-863.
- Reber, A. S. (1989). Implicit learning and tacit knowledge. *Journal of experimental psychology: General*, 118(3), 219-235.
- Reber, A. S. (1993). *Implicit learning and tacit knowledge*. New York: Oxford.
- Reber, P. J., & Squire, L. R. (1994). Parallel brain systems for learning with and without awareness. *Learning and Memory*, 1, 217-229.
- Robertson, E. M. (2007). The serial reaction time task: Implicit motor skill learning? *The Journal of Neuroscience*, 27(38), 10073.
- Russo, F. D., Martínez, A., Sereno, M. I., Pitzalis, S., & Hillyard, S. A. (2001). Cortical Sources of the Early Components of the Visual Evoked Potential. *Human Brain Mapping*, 15, 95-111.
- Schacter, D. L. (1992). Implicit knowledge: New perspectives on unconscious processes. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 89, 11113-11117.
- Schendan, H. E., Searl, M. M., Melrose, R. J., & Stern, C. E. (2003). An fMRI study of the role of the medial temporal lobe in implicit and explicit sequence learning. *Neuron*, 37, 1013-1025.
- Seisdedos, N. (2004). *CLAVES*. Madrid: Publicaciones de Psicología Aplicada.
- Shanks, D. R., & Perruchet, P. (2002). Dissociation between priming and recognition in the expression of sequential knowledge. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(2), 362-367.

- Sutton, S., Braren, M., & Zubin, J. (1965). Evoked-Potential Correlates of Stimulus Uncertainty. *Science*, *150*, 1187-1188.
- Thompson, R. F. (1972). introduction to Section IX. In Scientific American (Ed.), *Readings from Scientific American: Physiological psychology* (pp. 360). San Francisco: W.H. Freeman and company
- Tsushima, Y., & Watanabe, T. (2009). Roles of attention in perceptual learning from perspectives of psychophysics and animal learning. *Learning & Behavior*, *37*(2), 126-132.
- Wierzchon, M., Asanowicz, D., Paulewicz, B., & Cleeremans, A. (2012). Subjective measures of consciousness in artificial grammar learning task. *Consciousness and Cognition*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.concoq.2012.05.012>.
- Willingham, D. B., Bullemer, P., & Nissen, M. J. (1989). On the development of procedural knowledge. *Journal of experimental psychology: Learning, memory and cognition*, *15*(6), 1047-1060.
- Zarabozo, D. (septiembre de 1998). *EsVis\_W: estímulos visuales y tiempo de reacción* [Programa de Computadora]. VI Concurso Nacional de Instrumentación Biomédica (Mención Especial). San Luis Potosí, S.L.P.