



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**



FACULTAD DE PSICOLOGÍA

**Análisis conductual y electroencefalográfico de una tarea de
bisección temporal ligada al procedimiento N-back en humanos**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE

L I C E N C I A D O E N P S I C O L O G Í A

P R E S E N T A:

García Martínez Manuel Alejandro

DIRECTOR:

Dr. Oscar Zamora Arévalo

REVISORA:

Dra. Olga Araceli Rojas Ramos

Cd. Mx. Septiembre, 2022



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Índice General

Resumen.....	3
Capítulo 1: El tiempo como estímulo.....	4
Capítulo 2. Algunas bases neurobiológicas del timing intervalar.....	19
Justificación.....	28
Objetivos.....	30
Método.....	31
Análisis de datos conductuales.....	34
Análisis para datos de electroencefalograma.....	39
Discusión.....	43
Referencias.....	47
Anexos.....	55

Resumen

Los antecedentes de este trabajo se sitúan en el campo del timing intervalar, en el estudio de la percepción del tiempo en el rango de los milisegundos aún persiste una discusión sobre la forma en que las duraciones se almacenan en memoria de trabajo.

El objetivo de este trabajo es explorar la forma en que la carga en memoria de trabajo puede afectar las representaciones de tiempo, con lo que también sabremos más sobre la forma en que los intervalos son almacenados.

Como parte del método se utilizó una tarea de N-Back donde la variable dependiente es el número de ítems que un participante debe regresar en una línea de tiempo para tomar una decisión sobre el ítem en cuestión. De las respuestas obtenidas en la tarea N-Back se desprenden una serie de datos psicofísicos que permiten medir la variabilidad de las respuestas en función de las condiciones experimentales y que por lo tanto son las variables independientes. Como variables dependientes se utilizaron tres condiciones de N-Back con diferente dificultad cada una.

Este efecto también puede identificarse en ondas de PREs. En este trabajo se considera que, a diferencia de otras tareas, la manipulación de N-Back utilizada es exitosa en aislar el componente de decisión del sistema de timing, la manipulación de la N-Back es una variable dependiente que estaría afectando la amplitud de los PREs asociados a las diferentes condiciones de dificultad. Lo que además nos permite corroborar los resultados conductuales.

Los resultados confirman que la tarea N-Back tiene un impacto sobre memoria de trabajo para tiempo, específicamente en el momento de la recuperación y que hay un aumento en la variabilidad de las respuestas asociado al aumento de la dificultad dado por N-Back.

Capítulo 1. El tiempo como estímulo

Jozefowicz y Machado (2013) definen al timing intervalar como “La habilidad de los organismos para percibir intervalos entre dos eventos en un rango entre segundos y minutos” y “regular la conducta con base en los atributos temporales del ambiente”. A continuación, se describen algunos procedimientos experimentales que arrojan información sobre la interacción de los organismos con las propiedades temporales de su ambiente, utilizando intervalos que coinciden aproximadamente con la definición de estos autores.

En los procedimientos de condicionamiento clásico, un estímulo neutro se presenta de forma reiterada junto con un estímulo incondicionado (biológicamente significativo, p.e. comida). Lo que eventualmente resulta en una asociación entre ambos estímulos de manera que la sola presencia del estímulo antes neutro (ahora condicionado), provoca una respuesta muy similar a la generada por el estímulo incondicionado. Los procesos de condicionamiento clásico se estudian variando y controlando la relación temporal de los estímulos incondicionado y condicionado, lo que en algunos casos resulta en un cambio del criterio que debía cumplirse para la entrega del reforzador. Por definición, los criterios son considerados programas de reforzamiento en sí mismos (Domjan, 2010).

Quizá uno de los programas más básicos es el conocido como Tiempo Fijo, en el que el paso de un intervalo previamente establecido es suficiente para que el reforzador se presente. Utilizando un programa de este tipo, Pavlov (1926) encontró que perros, condicionados a salivar ante un estímulo que predecía a la entrega de alimento, comenzaban a salivar poco antes de terminado el intervalo establecido. Además, conforme los ensayos transcurrían, el tiempo entre el inicio de la respuesta y la entrega del reforzador se hacía más corto.

Church (2002) describe programas de reforzamiento en los que la restricción consiste en que transcurra una duración determinada por el experimentador y que una respuesta sea ejecutada llegado dicho intervalo. El hallazgo es una tasa de respuestas que aumenta a lo largo del intervalo fijado para llegar a su punto máximo al final del intervalo y cae al inicio del ensayo siguiente.

Galistel y Gibbon(2000) usan programas de intervalo variable con los que manipulan la probabilidad de que el organismo obtenga reforzadores en una sesión. Cuando los intervalos tienen un promedio mayor, se entregan menos reforzadores en el mismo periodo de tiempo y el trabajo de estos autores reporta que los sujetos prefieren los programas con menor variabilidad, es decir que son sensibles a la tasa de reforzamiento y por lo tanto a los tiempos entre reforzadores.

En programas de intervalo fijo el reforzador se entrega ante la primera respuesta una vez que ha transcurrido la duración establecida. Al patrón de respuestas que generan los programas de intervalo fijo se le ha llamado pausa carrera porque la tasa de respuestas es baja al inicio del intervalo y alcanza su punto más alto hacia el final del mismo, formando en los registros acumulativos un patrón conocido como festoneo. Adicionalmente, los registros muestran una pausa en las respuestas tras la entrega de reforzador, lo que es evidencia de la sensibilidad de los organismos a la proximidad temporal del reforzador (Allan y Gibbon, 1991).

Una variación interesante del programa de intervalo fijo que fue ideada directamente para estudiar la sensibilidad temporal de los organismos es la propuesta por Catania (1970). Se llama Procedimiento de Pico por la forma de las gráficas que describo a continuación. El procedimiento se compone de ensayos de intervalo fijo, supongamos que de 10 segundos; establecido el patrón de respuestas ya conocido, se agregan de forma aleatoria algunos ensayos que llamaremos de pico, que duran por ejemplo 30 segundos y en los que no se entrega reforzador, al graficar estos ensayos se puede observar un aumento de la tasa de respuestas alrededor de los 10 segundos propios del intervalo fijo y el subsecuente decremento de la tasa conforme el intervalo se extiende.

Antes de revisar el siguiente método para estudiar la percepción temporal, es necesario presentar un par de clasificaciones. Grondin (2010) ofrece una clasificación de los tipos de percepción temporal.

- Producción: Se le pide al participante que ejecute una conducta durante un tiempo especificado por el experimentador, esto puede hacerse presionando una tecla hasta que el tiempo haya transcurrido o con dos presiones que indiquen el inicio y final del intervalo producido.

- Reproducción: Se presenta un estímulo cuya duración debe ser igualada por el participante manteniendo una respuesta durante el intervalo observado o indicando el mismo con dos presiones de una tecla.
- Clasificación: Los participantes deben indicar si los estímulos presentados entran o no en una categoría previamente establecida o decidir si el estímulo percibido es igual, más corto o más largo que la muestra.

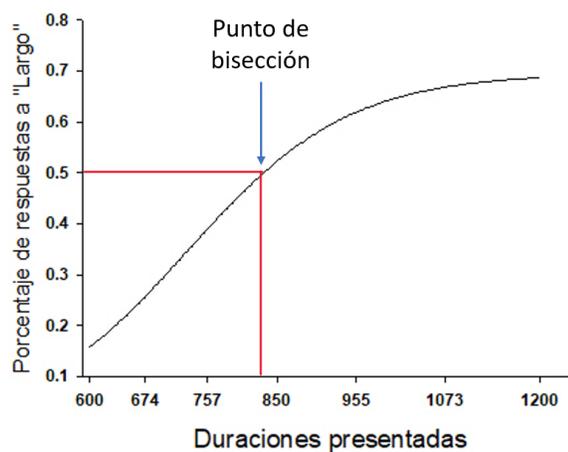
Dentro de las categorías antes descritas hay una subdivisión descrita por Block & Zakay (2008), quienes hacen una separación entre procesamiento prospectivo y retrospectivo. En los estudios sobre procesamiento prospectivo los experimentadores piden al participante atender a una duración por la que habrá de responder más tarde, es decir, los participantes son informados desde el inicio de las tareas que el tiempo es la característica importante a atender.

La investigación basada en procesos retrospectivos implica presentar duraciones junto con información no temporal y, terminada la presentación, pedir al participante una respuesta sobre la duración. Dado que en un inicio el participante no sabe que la información temporal es importante para la tarea, las estimaciones tienden a ser menos precisas que en procedimientos prospectivos, imprecisión que los autores atribuyen a la poca atención que los participantes prestan a las propiedades temporales de los estímulos (Block & Zakay, 1997). La distribución diferente de los recursos atencionales en tareas prospectivas y retrospectivas ha generado una discusión sobre el funcionamiento de los mecanismos implicados en cada tipo de tarea.

Dentro de la categoría de clasificación y posiblemente como tarea prospectiva encontramos los procedimientos de generalización y bisección temporal. En el procedimiento de generalización se presenta una duración estándar alrededor de la que se establecen algunas duraciones de prueba, el participante debe indicar si las duraciones de muestra son más largas, más cortas o iguales que la estándar. Por su parte, el procedimiento de bisección temporal propuesto por Church y Delutty (1977) y adaptado a humanos por Allan y Gibbon (1991), puede analizarse desde la base de la psicofísica clásica como el método de los estímulos constantes porque en la fase de prueba se usa un conjunto de duraciones establecidas desde el inicio que se presentan de manera aleatoria. Pero también es un

programa de igualación simbólica a la muestra porque la respuesta está en una dimensión diferente a la del estímulo. Concretamente, la tarea tiene una fase de entrenamiento en la que el participante aprende a responder diferencialmente a dos duraciones extremas (corta y larga) y una fase de prueba en donde se presentan las dos duraciones iniciales junto con una serie de duraciones intermedias de forma aleatoria. Allan y Gibbon (1991) explican que las probabilidades de responder corto y largo son altas para las duraciones extremas, pero decrecen para las duraciones intermedias, lo que genera una curva psicofísica de la que se pueden extraer los siguientes parámetros:

- El punto de bisección: es el valor de la curva en el que se responde al estímulo largo el 50% de los ensayos y corto al otro 50%, es decir, el momento en que el organismo no puede clasificar la duración como corta o larga. Consistentemente, se reporta que en las tareas con humanos este valor es cercano a la media geométrica de las duraciones e incrementa linealmente conforme la media aumenta.
- El limen diferencial: es la mitad del rango de valores que van entre el 25 y el 75% de respuestas a largo. Funciona como un indicador de precisión de la discriminación. Está en función lineal del punto de bisección.
- La fracción de Weber o coeficiente de variación: es el limen diferencial dividido por el punto de bisección. Se mantiene aproximadamente constante entre duraciones (Church 2002).



Un hallazgo que se ha confirmado en varios procedimientos sobre la forma en que las duraciones influyen la conducta de los organismos es que, cuando las respuestas ante diferentes duraciones son graficadas en escalas relativas, tienden a traslaparse, lo que significa que la percepción subjetiva de las relaciones opera de igual manera independientemente del tamaño absoluto de las duraciones físicas. Lo que concuerda con el hecho de que la varianza de los estimados de tiempo incrementa con la raíz cuadrada del estimado promedio (Gibbon, 1977).

Modelo de expectancia escalar

A partir de los principios antes descritos, Gibbon (1977) propuso la Teoría de Expectancia Escalar (SET por sus siglas en inglés), un modelo que concuerda con la propuesta de la existencia del reloj interno en el organismo planteada por primera vez por Treisman (1963).

El modelo SET considera tres elementos: un reloj, un acumulador y un decisor. El reloj consiste en un marcapasos que emite pulsos a una tasa constante. Más tarde se propuso que un pulso es emitido cada 200ms (Meck & Church, 1985). En el modelo original, un interruptor era activado al inicio de una duración a estimar, para permitir el paso de los pulsos íntegros al acumulador. Una propuesta más reciente (Zakay & Block, 1997) incorpora una compuerta con un grado de apertura dependiente de los recursos atencionales dirigidos al tiempo, de manera que los pulsos pueden no pasar completos al acumulador si durante la tarea de estimación el sujeto ejecuta otra tarea no temporal.

Dos datos están contenidos en el acumulador: la duración aprendida previamente y almacenada en memoria de referencia y la duración estimada actualmente, presumiblemente en memoria de trabajo. Ambas duraciones han sido multiplicadas por un factor de escalamiento al entrar al sistema. El decisor obtiene la razón de las dos duraciones ahora escaladas, tomándolas de los almacenes de memoria antes descritos y compara el resultado con un umbral para determinar si la duración estimada actualmente es corta o larga.

La multiplicación de las duraciones por el factor de escalamiento y la comparación mediante una razón da lugar a la propiedad escalar, que se refiere al hecho de que la variabilidad de las estimaciones aumenta de manera lineal junto con la duración objetiva de los estímulos y que es una invariancia empírica reflejada en la ley de Weber; el hecho de que

el punto de bisección tome consistentemente un valor muy cercano al de la media geométrica deriva de la propiedad escalar, lo que significa que el criterio de bisección se encuentra entre los dos valores extremos y opera con una regla de respuesta relativa. Es por estas características que SET es uno de los modelos más ampliamente utilizados a la hora de intentar explicar estimación temporal.

Kononowicz, Van Rijn & Meck (2016) describen una serie de principios que pueden ser obtenidos a partir de los estudios en percepción temporal y que dividen en primer y segundo orden. Los principios de primer orden son aquellos que pueden ser aplicados a las duraciones de eventos individuales e implican la precisión con que se estima una duración, estos principios incluyen diferencias en:

- A) Cuan rápido corre el reloj subjetivo y
- B) Cómo se almacena y compara una duración

Los principios de segundo orden comparan múltiples duraciones en términos de:

1. Invariancia en las escalas de tiempo,
2. Factores no temporales, como los que están detrás del hecho de que los eventos auditivos son percibidos más largos que los visuales
3. Cómo la habilidad de timing intervalar parece relacionarse con nuestra sensibilidad para organizar ritmos y
4. El papel de la atención en la manera en que almacenamos y recordamos las duraciones.

Ambos principios de primer orden y el primero de los principios de segundo orden son explicados por el modelo de SET, sin embargo, la formulación y evidencia de los últimos dos principios de segundo orden aún está sujeta a discusión. Uno de los factores no temporales estudiados a menudo en los paradigmas de estimación temporal es el orden de los estímulos, información que está contenida en memoria temporal y, como veremos a continuación, este almacén es una forma específica de memoria de trabajo.

Sobre la memoria temporal

Hoerl y McCormak (2001) se preguntan cómo podemos generar una historia del mundo e integrar en ella nuestras propias historias personales. Block y Zakay (1997) sostienen que para integrar la experiencia y entender una historia ordenada del mundo los mecanismos de memoria son quizá tan importantes como aquellos que codifican el paso del tiempo y a veces un sistema se apoya en el otro. De esta integración de información deriva nuestra memoria autobiográfica.

Friedman (1993) considera que las memorias no están ordenadas cronológicamente, sino que nuestro recuerdo es un proceso de reconstrucción cuya precisión depende de: A) las veces que un evento ocurrió B) el tiempo que ha pasado desde el evento, lo que Friedman llama proceso de distancia y C) de la información que tenemos de ese evento, especialmente por el contexto en el que ocurrió, es decir por su relación con otros eventos (proceso de localización).

Establecida la necesidad de la memoria para integrar el mundo y dado que el modelo SET considera que las duraciones recientes son almacenadas en memoria de trabajo, hace falta hablar un poco sobre este proceso.

Memoria de trabajo para tiempo

Postle (2006) define memoria de trabajo como la retención de información de estímulos no presentes en el ambiente, para su manipulación que servirá como guía de la conducta. A continuación, tomaremos uno de sus argumentos sobre la necesidad de parsimonia en los modelos de memoria de trabajo.

En su revisión, Postle explica que los primeros modelos de memoria de trabajo integraban un almacén visoespacial y otro semántico, pero que estudios posteriores han encontrado que las características de memoria de trabajo son tan específicas de los estímulos procesados que muchos autores (como Martin et al., 2004 y Shivde and Thompson-Schill, 2004), han propuesto subdivisiones cada vez más puntuales, lo que lejos de contribuir a la parsimonia, ha hecho que un modelo que inició siendo sencillo e intuitivo se haya convertido en un gran mapa lleno de subdivisiones que en muchos casos resultan redundantes. Por si

fuera poco, menciona una serie de estudios que demuestran que la información contenida en memoria de trabajo no necesariamente es una función de la corteza prefrontal, y que esta estructura está encargada de funciones como la toma de decisiones en cuanto a la información comparada pero no es directamente responsable del almacenamiento de memoria temporal.

El mismo autor presenta dos principios para su propuesta de memoria de trabajo: el primero postula que la retención de información en memoria de trabajo está asociada con la actividad sostenida de las mismas regiones cerebrales que son responsables de la representación de esta información en situaciones distintas a memoria de trabajo. El segundo postula que las representaciones de memoria de trabajo guardan automáticamente toda la información posible sobre los estímulos.

Una revisión de Mathews y Meck (2016) sobre cognición temporal, se centra en el principio de procesamiento, lo que ellos describen como una generalización sobre el hecho de que las duraciones subjetivas de los estímulos están en función de la fuerza de su representación perceptual. El principio se refiere a los procesos y variables que hacen un precepto más vivido, categorizable, pero también hacen que su duración subjetiva sea mayor. Los autores afirman que la conformación del percepto depende de tres factores:

- Las variables de los estímulos que aumentan o disminuyen el input
- La distribución de atención automática o intencional
- Los cambios en la sensibilidad del sistema resultantes de su experiencia pasada con los mismos inputs.

Block, Hancock y Zakay (2010) hacen un meta análisis de 117 experimentos sobre carga cognitiva y demuestran que esta puede ser manipulada con tareas que impliquen juicio de duraciones, concluyendo que la variabilidad en torno a las duraciones es una buena medida de la precisión y que funciona como indicador de la manera en que la carga cognitiva está afectando a las representaciones en memoria.

La tarea N-back inició como una tarea de pruebas neuropsicológicas, diseñada por Kircher (1958) y fue introducida en las neurociencias por Gevins et al. (1990) como una tarea de memoria de trabajo con un único factor de carga (3 back). Jaeggi et al. (2010) constatan la utilidad de la tarea como una medida de memoria de trabajo, con lo que se puede introducir

como un procedimiento para poner a prueba las diferencias entre los resultados psicofísicos asociados a cada n . La tarea consiste en la presentación de una serie de estímulos de entre los que se pide que el participante recuerde y responda por uno, la carga de trabajo cognitivo es manipulada cambiando la posición en la secuencia del estímulo objetivo.

Cuando se pide una respuesta por el estímulo inmediatamente anterior, se habla de *N-back 1*, cuando se pregunta por el antepenúltimo estímulo se trata de *N-back 3*, precisamente es mediante la manipulación de los estímulos presentados, que se puede manipular la carga en memoria de trabajo, de manera que los ensayos con más estímulos o aquellos en los que el target ha quedado más atrás en el tiempo son los que generan mayor carga cognitiva. Cuando los participantes saben desde el principio cuál es el tipo de información al que deben atender, se trata de una tarea retrospectiva.

La tarea *N-Back* ofrece dos ventajas metodológicas: es una tarea retrospectiva en el sentido de que permite preguntar a los participantes por eventos que ya sucedieron, pero asegurando que todos los eventos sean atendidos, por lo que los efectos resultantes serían atribuibles a procesos de memoria más que a cuestiones atencionales. Por otro lado, permite manipular la carga en memoria de trabajo al variar el lugar en la secuencia que el participante debe recordar.

Varios autores sugieren que la ejecución de la tarea de *N-Back* requiere de dos componentes cognitivos. El primero es la actualización de memoria de trabajo, el segundo la recuperación del ítem que el ensayo indica. La tarea original de *N-Back* implica la presentación de una serie continua, pongamos por ejemplo 4 estímulos (Ver Jaeggi, et. al. 2010). En la tarea clásica de *N-Back* se presentan los estímulos 1 y 2, a continuación una pantalla le indica al participante que responda por el estímulo que percibió 2 lugares atrás. Este sería el estímulo 1. Tras la respuesta del participante, se presentan los estímulos 3, 4 y a continuación se le pide que responda por el estímulo que percibió 4 lugares atrás. Este sería de nuevo el estímulo 1.

Como podemos ver, el hecho de que se presente una pregunta al participante y haya un intervalo entre ensayos, no termina con la secuencia a la que se debe atender. A esta estructura de la tarea es a la que se refieren los autores al decir que *N-Back* implica un proceso de actualización en memoria de trabajo.

La tarea utilizada en este experimento presenta siempre secuencias de tres estímulos y solo se presenta la pregunta de N Back cuando estos han concluido. Con lo que es innecesario que haya una actualización de la información que conjunte los estímulos del ensayo anterior para responder al ensayo actual. En el mejor de los casos, la información se descarta cuando el ensayo termina y se mantienen activas solamente las representaciones de los dos intervalos de referencia, corto y largo. La ilustración 1 muestra dos esquemas para comparar las tareas N back modificada de este trabajo con la tarea original.

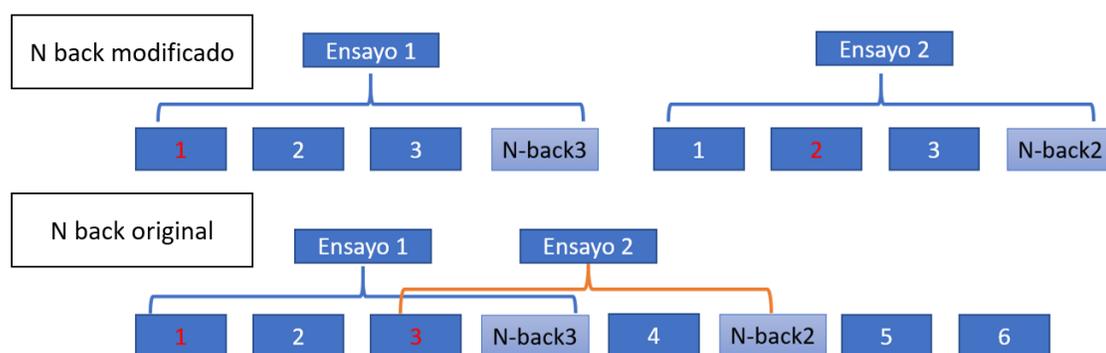


Ilustración 1: Esquemas para comparar las estructuras del N back modificado usado en este trabajo y el N-Back original. En el N back original la presentación de la pregunta de N-back puede ocurrir después de cualquier estímulo. Además, si la tarea es de N back 3 el participante debe recordar siempre los tres estímulos más recientes, incluso si entre alguno de los tres se presentó la pregunta de N Back.

Un estudio que utiliza la variabilidad como medida de precisión es el de Manohar y Husain (2016), quienes emplearon una tarea de reproducción similar a *N-back* al presentar una serie de hasta cinco duraciones. Aleatorizaron el número de estímulos entre ensayos. Al final de cada ensayo iniciaba un intervalo de retención y tras este, el participante recibía una clave visual que indicaba cuál de las duraciones en la secuencia debía reproducir. Los autores encontraron que, aunque la memoria de trabajo puede tener una alta resolución, también tiene representaciones volátiles: no observaron distorsiones en la percepción en forma de sesgos hacia largo o corto, sino un incremento en la variabilidad de las respuestas alrededor de las duraciones. Estos hallazgos apoyan las ideas de que la memoria de trabajo puede tener representaciones de alta resolución, pero volátiles, lo que significa que la representación es susceptible de verse perjudicada por la entrada de nueva información. Además, permiten argumentar que los efectos encontrados pueden tener lugar en la codificación o el almacenamiento, no son un sesgo perceptual y descartan la posibilidad de que se trate de un

efecto de parpadeo atencional porque este ocurre entre los 150 y 450ms (Shapiro, Raymond & Arnell, 1997).

Teki y Griffiths (2014) utilizaron una tarea de memoria temporal retrospectiva en la que le presentaban a los participantes series de cinco *clicks* que delimitaban cuatro duraciones, cada una de ellas elegida de una distribución normal de entre 500 y 600 ms para su primer experimento y de entre 1000 y 1200 ms para el segundo experimento. Al intervalo de 500 ms por ejemplo le añadían un un “jitter” que es una variación en la duración aleatorizada ensayo a ensayo pudiendo tomar valores de 10-15%, 20-25%, 35-40% o 50-55% de desviación de la duración original, con este metodo obtuvieron todas sus duraciones.

Para ser mas claros las duraciones establecidas inicialmente son solo un punto de partida y el *jitter* establece la duracion real que tendrá el estimulo, entonces un jitter de 10% aplicado a una duracion base de 500ms puede generar duraciones de entre 450 y 550ms, pero si el *jitter* es del 50% la misma duración base va a generar duraciones de entre 250 y 750ms. Entonces las condiciones mas dificiles son por un lado las que tienen mas variación en las duraciones y por otro lado las que requieren que el participante recuerde eventos que pasaron con mas anterioridad.

De los hallazgos de Teki y Griffiths, hay que destacar que con secuencias más regulares es más difícil recordar la duración de un ítem en particular y que cuando hay más ítems para recordar la memoria temporal decae, lo que los autores interpretan como que varios ítems pueden ser codificados a costa de la precisión, es decir que las representaciones son volátiles.

Aunque el análisis de Block, Hancock y Zakay (2010) se centra en duraciones de al menos tres segundos, una restricción mencionada por ellos y que debería mantenerse sin importar las duraciones implicadas en la tarea, es que la variabilidad no puede ser el único parámetro reportado, ya que es necesario dar cuenta al menos de las duraciones promedio producidas o percibidas por los participantes para poder tener un análisis fiable de los datos.

Otra aproximación psicofísica: Teoría de detección de señales

La aproximación de teoría de detección de señales es otra forma de acercarse a los datos psicofísicos y su principal aportación consiste en su capacidad para separar la precisión en las respuestas de un posible sesgo a responder hacia una de las opciones dadas.

Según explican Stanislaw y Todorov en su artículo de 1999, no basta con observar las respuestas correctas (Hit) de los participantes, sino que se necesita también cuantificar el resto de las respuestas y observar si estas se tratan de omisiones del estímulo objetivo (Miss) o de casos en que el participante confunde un estímulo diferente con el objetivo (False Alarm) o lo reconoce como distinto (Rechazo correcto). A partir de los valores de hits y falsas alarmas es que ellos desarrollan los cálculos para los parámetros A' y B'' que reflejan precisión y sesgo de respuesta, respectivamente.

Como parte de la idea de que cuando un participante está en una tarea de elección, hay un umbral que debe ser sobrepasado por el estímulo en cuestión para que pueda tener lugar la decisión de responder de cierta forma, se asume que el organismo es capaz de identificar la variable importante en el ambiente (**Señal**) y que, aun con estímulos constantes el valor que esta tome puede verse afectado por cambios neuronales o atencionales, por lo que no hay un solo valor para la variable en cuestión sino que se trata de una distribución. Por otro lado, los distractores (**Ruido**) también pueden variar en el grado en que se parecen al *target*, por lo que también habrá una distribución para estos.

Siendo así las cosas, el organismo necesita fijar un criterio de decisión que le permita identificar la señal confiablemente, al tiempo que limita al máximo el número de ocasiones en que un distractor pasa por señal. Un criterio muy estricto excluirá la mayor parte de ruido, pero dejará menos señal, y un criterio laxo aceptará más señal, pero también más ruido.

Las medidas de teoría de detección de señales reflejan dos factores, el punto en el que está fijado el criterio (sesgo de respuesta, B'') y el nivel de traslape entre las distribuciones de señal y ruido (precisión, A'). Para obtener estas medidas se definieron como señal los tres estímulos mas cortos de nuestra tarea, mientras que los tres mas largos se consideraron ruido y el estímulo con duración intermedia fue ignorado. Las respuestas a la tecla asociada a corto cuando el estímulo fue corto se consideraron hits, las respuestas a largo cuando el estímulo

fue corto se consideran falsas alarmas y teniendo esos dos valores para cada sujeto en cada condición experimental se siguen las siguientes formulas para A' y B

$$A' = .5 + [(HR - FAR)(1 + HR - FAR) / 4HR(1 - FAR)]$$

$$B = [HR(1 - HR) - FAR(1 - FAR)] / [HR(1 - HR) + FAR(1 - FAR)]$$

Capítulo 2. Algunas bases neurobiológicas del *timing* intervalar

Desde la perspectiva de las neurociencias, las estructuras involucradas en la percepción y representación del tiempo han sido descrita en estudios farmacológicos (Marrig & Church, 1983), de lesiones cerebrales en pacientes clínicos (Harrington & Haland, 1999) y de imagenología cerebral (Nenadic et al., 2003), los cuales han permitido a los estudiosos del tema perfilar los mecanismos neuronales y funcionales que subyacen a la percepción de intervalos en el rango de cientos de milisegundos a minutos.

Rao, Meyer & Harrington (2001) usaron resonancia magnética funcional para estudiar el procesamiento de duraciones de poco más de 1s, en el que describieron actividad en el hemisferio derecho, el putamen y el núcleo caudado durante la codificación de duraciones, mientras que la activación predominó en la corteza dorsolateral prefrontal durante la toma de decisiones para determinar si el estímulo percibido era más corto, largo o igual que un intervalo estándar.

Gran parte de la información que los investigadores pueden obtener sobre cualquier sistema cognitivo está determinado por las características de la forma de registro. Las técnicas con mejor resolución espacial (como la resonancia magnética funcional) tienen resolución temporal pobre en comparación con técnicas con tasas de registro muy altas como el electroencefalograma. Este trabajo, por ejemplo, necesita una alta precisión temporal dados los cortos estímulos a utilizar, así como el curso temporal de los procesos de memoria de trabajo.

De cualquier forma, de la disparidad entre métodos de registro deriva la necesidad de integrar los datos en modelos que permitan hacer nuevas hipótesis sobre el funcionamiento del sistema e idear hipótesis a partir de un terreno teórico más sólido. Merchant y de Lafuente (2014) resumieron tres posturas en cuanto a modelos neurofisiológicos sobre la percepción temporal en el rango de los cientos de milisegundos a segundos: hipótesis del mecanismo

común, de un mecanismo ubicuo y de un mecanismo parcialmente distribuido, integrado por estructuras interconectadas como un circuito que comprende el tálamo, la corteza y los ganglios basales.

Hass y Durstewitz (2014) describen una serie de modelos neurocomputacionales que podrían servir para arrojar luz sobre la manera en que las oscilaciones de las ondas cerebrales generan la estimación temporal. Entre ellos, algunos proponen que el tiempo es representado por un aumento en la tasa de disparo neuronal que se automantiene a lo largo del tiempo (actividad rampante), por cadenas de disparo de poblaciones de neuronas que codifican diferentes duraciones según la población, mediante la medición de la distancia que una señal recorre en una red de procesamiento (estado de trayectoria espacial), por medio de un conjunto de neuronas con actividad rítmica que puede ser leída en cualquier momento (osciladores) o por decaimiento estocástico de la huella mnésica de la señal.

A pesar de la postura de Hass y Durstewitz sobre la actividad neuronal rampante como un generador de la percepción temporal, los modelos oscilatorios permiten explicar la manera en que regiones muy separadas en el cerebro logran comunicarse mediante la sincronía de sus oscilaciones, formando redes transitivas, es decir, que solo comparten información en momentos específicos, de acuerdo con lo propuesto por Buszaki (2006).

A la luz de la perspectiva de comunicación oscilatoria y de la multiplicidad de estructuras que han demostrado estar implicadas en el proceso de **timing** intervalar, los modelos que consideran redes parcialmente distribuidas parecen los más plausibles. Sobre estas redes Merchant y De la Fuente (2014) apuntan que este circuito incluye el área motora suplementaria, el área pre-motora suplementaria, el neoestriado, el globo pálido y el tálamo motor. Hay cierto consenso en cuanto a que esta red es un elemento clave para timing intervalar, dado que su activación es evidente en estudios de categorización, discriminación y producción.

El modelo de disparo estriatal (Miall, 1989) considera el estriado como un detector de coincidencia porque recibe una gran cantidad de inputs corticales, pero solo reacciona ante ciertos patrones de entrada.

Por su parte, el modelo de frecuencia de disparo estriatal (SBF por sus siglas en inglés) propuesto por Matell y Meck (2004), comprende un circuito que inicia en el estriado

desde el que los outputs siguen dos rutas: La vía directa está conformada por proyecciones gabaérgicas al segmento interno del globo pálido y la sustancia nigra pars reticulata, estas dos últimas proyectan principalmente al tálamo. La vía indirecta pasa a través del segmento externo del globo pálido, luego a núcleos subtalámicos y sigue hacia la sustancia nigra pars reticulata y el segmento interno del globo pálido. Esta ruta tiende a contrarrestar los efectos inhibitorios del estriado en la sustancia nigra pars reticulata y el globo pálido mediante una modulación inhibitoria del tálamo. El tálamo tiene proyecciones directas a la corteza y vías que pasan por el estriado antes de llegar a la corteza.

Matell y Meck (2004) proponen que el funcionamiento de un potencial marcapasos podría ser de origen dopaminérgico, lo que puede parecer contradictorio porque el circuito es esencialmente gabaérgico, sin embargo, se sugiere que la dopamina juega un rol importante en la modulación de la efectividad de la excitación talámica glutamatérgica de las neuronas espinales estriatales, de modo que si las sinapsis cortico-estriatales pueden ser modificadas por entradas dopaminérgicas, las neuronas espinales del estriado podrían funcionar como detectores de coincidencia que, mediante reforzamiento hebbiano¹, aumentarían su probabilidad de disparo ante patrones corticales similares en el futuro. Dado que las células pasan sucesivamente por estados de excitación e inhibición que las hacen tender hacia el otro estado, el grado en que el sistema puede codificar información entrante varía ligeramente de momento a momento, lo que ocasiona variaciones en las duraciones codificadas y es responsable en parte de la propiedad escalar descrita en SET. Recordemos además que esta propiedad está relacionada con la función de comparación mediante un proceso de razón, por lo que el estriado también podría contribuir a la aparición de la propiedad escalar.

Pese a sus bondades, el modelo SBF no explica cómo pueden mantenerse activas las representaciones de dos duraciones para una tarea de bisección y aunque describe la codificación de las duraciones en términos de oscilaciones, no se ha descrito el mecanismo mediante el que ésta se logra.

¹ Reforzamiento hebbiano: La fuerza de las conexiones sinápticas aumenta cuando dos o más neuronas se activan simultáneamente.

Como se veía en el capítulo anterior, Postle (2006) propuso un modelo intuitivo de memoria de trabajo que no necesita la corteza prefrontal como un almacén, lo que contradice la propuesta del modelo SBF; pero en su artículo Postle no habla de memoria temporal, quizá por eso entre su muy amplia bibliografía no figura el trabajo de Lustig, Matthews y Meck (2005), en el que se discute que la memoria de trabajo y el timing intervalar son muy similares en cuanto a la manera en que procesa la información, según indican las coincidencias entre un modelo neurobiológico de memoria de trabajo, el modelo SBF y modelos conductuales de memoria de trabajo.

Como complemento al modelo de frecuencia de disparo estriatal, Gu, Van Rijn y Meck (2015) exponen un modelo que sigue la perspectiva de Postle (2006) en cuanto a que la memoria de trabajo es un almacén de capacidad flexible.

El modelo de *multiplexing* sugiere que las estructuras asociadas al **timing** intervalar son las mismas que se encargan del procesamiento de memoria de trabajo, por lo tanto, a la luz del trabajo de Postle (2006) es plausible la noción de que la memoria de trabajo para timing intervalar tenga características específicas de la información que procesa, incluyendo las vías cerebrales en las que está instanciado.

Electroencefalografía y timing intervalar

La electroencefalografía (EEG) es una técnica de registro psicofisiológico creada por Berger 1929 que permite adquirir la actividad eléctrica cerebral a través del cuero cabelludo, derivada del funcionamiento de grandes poblaciones de neuronas corticales que, a su vez están influenciadas por estructuras más basales (Cohen, 2014). Aunque no tiene la resolución espacial de técnicas como la resonancia magnética funcional, su resolución temporal está en el orden de los milisegundos y algunos análisis matemáticos aplicadas a registros multicanal pueden aumentar la fiabilidad espacial de los resultados (Picton et al, 2000).

Esta técnica ha sido utilizada tanto para investigación como para fines clínicos. Del lado de la investigación hay dos tipos de análisis: lo que se reportan simplemente como EEG tienden a utilizar la transformada rápida de Fourier que a partir de ondas complejas muestra un espectro de frecuencias y la correlación de fuentes. El otro tipo de análisis, que conserva

la precisión temporal del EEG, es el de Potenciales Relacionados a Eventos (PREs). Se basa en el promedio de aquellas épocas o segmentos de EEG durante los cuales se presentó la condición de interés o se realizó la tarea. Dado que las ondas de EEG son esencialmente aleatorias, una parte de las épocas se anula al promediarse y permite incrementar la proporción señal/ruido como indicador del efecto de la tarea estudiada (Cohen, 2014).

Kilmesch (1999) relacionó la carga de memoria de trabajo con la potencia de ondas alfa (entre 8 y 13 Hz), atribuyendo el efecto a la acción de vías tálamo-corticales, idea que concuerda con la descripción de Matell y Meck (2004), quienes además muestran que la corteza cerebral proyecta principalmente al estriado.

De entre los patrones de disparo propios de la corteza, la actividad neuronal ascendente se ha propuesto como un potencial reflejo de procesos de reloj, siendo un buen ejemplo de esta actividad la Variación Negativa Contingente (CNV por sus siglas en inglés). Se trata de un potencial evocado descrito por primera vez por Walter (1964) como “una pequeña onda positiva oscurecida por un componente negativo mucho más grande” que aparece tras un estímulo a atender previo a una respuesta en la que era importante el tiempo de reacción. Más tarde, Tecce (1972) propuso un modelo más general que asocia la CNV con atención anticipatoria, preparación, motivación y procesamiento de información. CNV es una onda negativa que ocurre en tareas de estimación temporal, y que coincide temporalmente con la presentación del estímulo a estimar, incluso tiene una duración similar a la de los estímulos presentados, además su localización en la corteza premotora frontal sugiere que refleja procesos de codificación de la información temporal.

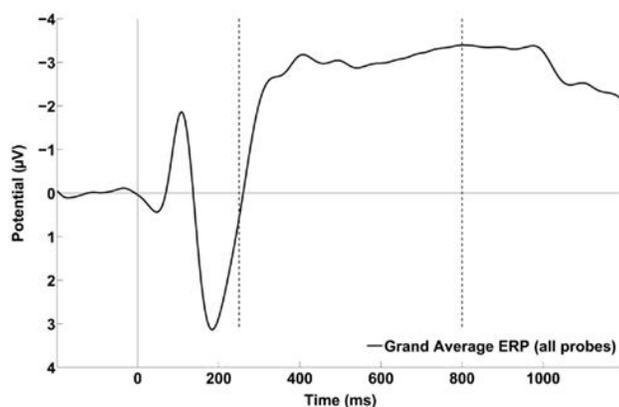


Ilustración 2 Variación Negativa Contingente. Tomado de Ng, Tobin y Penney, 2011. Notese que el eje Y está invertido

Macar, Vidal y Casini (1999) reportaron que, en una tarea de producción, las sobreproducciones (duraciones percibidas y efectuadas más largas de lo que duran objetivamente) generaron mayores amplitudes de CNV que las subproducciones y que en una tarea de igualación a la muestra, lo que se interpretó como un correlato de la acumulación de pulsos en el almacén propuesto en SET.

Sin embargo, Kononowicz & Van Rijn (2011) buscaron replicar los hallazgos de Macar, Vidal y Casini (1999) y encontraron un efecto de habituación en la CNV a lo largo del experimento. Además, no encontraron diferencias significativas al comparar las producciones largas, cortas y correctas de los participantes, por lo que sugieren que la CNV podría no ser un buen indicador de la acumulación de pulsos. De cualquier modo, vale la pena revisar algunos otros experimentos en torno a la CNV porque la duración utilizada en la tarea de producción del estudio de Macar et al.????? fue de 2.5s, y Grondin (2014) describe diferencias en el modo de procesar duraciones que están por encima y por debajo de aproximadamente 1s.

Paul et. al (2011) realizaron un experimento de generalización utilizando duraciones de alrededor de 600ms y describieron la generación de la CNV en áreas frontales seguida por una espiga positiva con mayor amplitud en áreas parietales.

Pfeuty, Ragot y Pouthas (2003) reportaron evidencia que apoya la idea de que la CNV refleja la duración memorizada, llegando a su pico cuando esta ha transcurrido. Además, dadas las diferencias encontradas en un ANOVA en el que compararon los electrodos frontales derechos con los izquierdos, sugirieron que la actividad de la corteza prefrontal medial en el hemisferio izquierdo estaba ligada al proceso de acumulación, mientras que la del hemisferio derecho se vinculaba con un proceso atencional preparatorio para el final del estímulo.

En un experimento utilizando resonancia magnética funcional simultáneamente con registro de EEG, se programó una tarea de tiempo de reacción en la que el intervalo entre un estímulo de alerta y el momento en que el participante debía responder, se mantuvo relativamente constante (aunque con variaciones) en este intervalo se pudo observar CNV. Se reportaron aumentos del nivel de oxígeno dependiente de sangre en tálamo, corteza sensoriomotora, corteza del cíngulo medial bilateral, el área motora suplementaria y la

corteza insular (Nagai et al., 2003). La actividad de la corteza cingulada medial, el área motora suplementaria y la corteza insular se asoció con incrementos en la activación periférica como se puede ver en los registros de conductancia galvánica que también hicieron. También se encontró que la actividad tálamo-cortical (tálamo bilateral, cíngulo anterior y área motora suplementaria) modulaba la amplitud de la CNV ensayo a ensayo, sugiriendo relaciones funcionales entre las áreas implicadas, consistente con el modelo propuesto por Matell y Meck (2004).

Por otro lado, Ng, Tobin y Penney, (2011) utilizaron una tarea de bisección y sugirieron que CNV podría reflejar el uso de un criterio de decisión, pues la espiga negativa comenzaba a declinar (perder negatividad, regresando a un estado basal) casi después de que la duración en curso rebasaba el punto de bisección de las duraciones extremas para esa tarea, por lo que los autores consideraron que posiblemente CNV reflejaba un proceso lineal de acumulación de pulsos, lo que es consistente con el modelo de SET.

El trabajo de Ng y colaboradores (2011) llama la atención sobre el hecho de que en una tarea de bisección temporal, la CNV regresa a un estado basal alrededor del punto de bisección entre dos duraciones extremas, lo que podría significar que para responder, el organismo fija un criterio en algún punto entre las duraciones extremas, por lo que el proceso no necesita de un estadio en el que la duración actual se compare con la duración de memoria de referencia, sino que cuando el estímulo termina antes del criterio fijado, la respuesta será corto y si el estímulo continua tras ese punto, la respuesta sera “largo”. La manipulación de *N-back* garantiza que las duraciones sean comparadas con el estímulo estándar porque durante su presentación el participante no sabe a cuál de ellas habrá de responder. Esto hace necesario el uso de métodos que nos permitan entender el procesamiento de información entre el inicio de los estímulos y el momento de las respuestas (Ng, Tobin y Penney, 2011).

Sobre las ondas de PREs en la tarea N-back, que fue descrita en el apartado anterior, hay que recordar que el nivel de dificultad ocurre porque el lugar que el estímulo de prueba ocupa en la secuencia es aleatorizando. Entonces podemos esperar que la atención sea distribuida de manera uniforme entre los tres estímulos, por lo tanto, el intervalo de presentación de los estímulos en la condición de bisección con N-back implica mayor carga atencional que la condición de bisección. Además, en esta última condición, la variación

ensayo a ensayo del estímulo al que se ha de responder aumenta la carga de memoria de trabajo en función de la posición del estímulo prueba, siendo la condición *N-back 3* la de mayor carga de memoria de trabajo por situar el estímulo prueba más atrás en el tiempo.

Pocos son los estudios que utilizan estímulos temporales para tareas de N-back; la mayor parte de la información disponible al respecto proviene de trabajos que utilizan otro tipo de estímulos. Por ejemplo, Watter, Geffen y Geffen (2001) utilizaron una tarea en la que le pedían a los participantes que observaran una serie de círculos que se presentaban dispuestos como los números de un reloj. En cada ensayo se les pidió que indicaran si el estímulo muestra correspondía en su posición a un círculo que se había presentado hasta 3 ensayos antes del momento presente, con lo que generaron 3 condiciones N-back y una de N-back 0, en la que el estímulo presente es el mismo por el que se ha de responder. De estas condiciones hay que destacar el hecho de que la información del ensayo actual podía no ser útil en ese momento, pero era posible que hubiera que responder sobre ella dentro de uno o dos ensayos. Estos autores encontraron una disminución de la precisión asociada a mayor carga de memoria de trabajo; al hacer un análisis de PREs se centraron solamente en los ensayos con respuestas correctas, identificando la onda P300, asociada a la respuesta de los participantes. Esta onda presento su pico máximo entre los 400 y 600 ms sin que se reportaran diferencias en latencia. Hallaron una disminución de la amplitud de P300 asociada al aumento en la carga de memoria de trabajo. A partir de lo anterior, los autores sugirieron que los decrementos en P300 implican una re-ubicación de recursos de capacidad de procesamiento para la parte de comparación. La P300 indexa la codificación del nuevo estímulo y su comparación con el N-back ya seleccionado, por lo que, N-back se podría considerar como una tarea dual, donde el primer proceso se centra en la codificación, búsqueda y selección en memoria de trabajo, mientras que el segundo se trata de la comparación del estímulo actual con el N-back.

Por otro lado, Scharinger et al. (2017) explican que en la tarea N-back, la condición N-back 1 implica actualizar constantemente el ítem mantenido en memoria de trabajo, a partir de N-back 2 además es necesario cambiar el foco atencional entre el estímulo para comparar y la inhibición de información que ya no es importante para la tarea o tendencias a responder incorrectamente.

En concordancia con el estudio de Watter, Geffen y Geffen (2001), encontraron que la potencia de P300 disminuía cuando aumentaba la carga en memoria de trabajo. La potencia de la banda theta aumentaba junto con la **potencia** de P300, mientras la potencia de alfa disminuía, estos datos son reportados en el orden de los microvolts uV. Los resultados indican que N-back es tan difícil como tareas de memorización de dígitos. De las condiciones N-back 1 a 4 no encuentran diferencias importantes al comparar N-back3 con N-back4.

Otro trabajo interesante sobre las ondas de PRE relacionadas con el proceso de toma de decisiones es el de Paul. et al. (2011) quienes utilizaron una tarea de generalización en la que variaban la dificultad de sus condiciones eligiendo dos conjuntos de duraciones, en los que ellos denominan fácil las duraciones espaciadas por 150ms, mientras que en la condición difícil estaban espaciadas 75ms una de otra, es decir, que aumentaron la dificultad al incrementar la semejanza entre las duraciones. Lo que encontraron Paul et.al (2011) fue que en la condición difícil se mantenía la variabilidad de las respuestas sin importar la dificultad de la condición pero que los participantes tendían a tomar decisiones más conservadoras. Interpretaron este cambio en el criterio de decisión como un éxito en encontrar la manera de manipular únicamente los procesos de decisión asociados a timing intervalar. En cuanto a sus hallazgos, describen el Componente Positivo Tardío (LPC por sus siglas en inglés), un componente positivo que se ha reportado en estudios de memoria, en este caso ellos describieron que la amplitud de esta onda se podía considerar un indicador de mecanismos inhibitorios que suprimían la actividad neuronal asociada con respuestas menos posibles; en la condición difícil los autores encontraron mayor amplitud del LPC, relacionada con la mayor probabilidad de respuestas a “sí” en su tarea de generalización.

Por último, Gruber et al (2000) reportaron datos de imagenología con una tarea de memoria de trabajo con requerimientos similares a N-back. Sus resultados apuntan a un rol específico de regiones frontales en memoria de trabajo para información temporal, particularmente en procesos de representaciones de actualización de representaciones temporales en memoria de trabajo. Utilizaron estímulos visuales y encontraron activaciones en el área de Broca, lo que apuntó a que esta área y el área motora suplementaria (SMA por sus siglas en inglés) pueden estar involucradas en la memoria de trabajo sin importar la procedencia de los estímulos procesados. Los resultados sugieren una ventaja del hemisferio

izquierdo en tareas de timing que pueden ocurrir cuando la ejecución está apoyada sobre estrategias de recuperación y por lo tanto recae en un bucle fonológico ubicado predominantemente en el hemisferio izquierdo. El área de broca y la SMA se han asociado con el sistema de bucle fonológico que permite el procesamiento mnésico y la organización de estímulos auditivos secuenciales.

Justificación

Es evidente que los organismos no perciben las duraciones aisladas, sino que dan forma a sus historias individuales y del mundo mediante la integración de eventos consecutivos. Aunque el procesamiento de secuencias temporales ya ha sido estudiado, falta información acerca de la manera en que cada ítem de una secuencia es almacenado y recuperado de la memoria de trabajo.

Para diferenciar dos duraciones, los organismos pueden confiar en un criterio de decisión derivado de las dos duraciones extremas (Gibbon, 1977), sin embargo, los modelos que mejor explican el procesamiento de duraciones aisladas no dan cuenta del almacenamiento de distintas duraciones a comparar. Aún está latente la cuestión de si las secuencias son procesadas como una unidad y luego se responde por una parte de ella o como varias duraciones distintas.

En las tareas retrospectivas tiende a haber subestimaciones que se atribuyen a un componente atencional. En las tareas prospectivas este mismo componente es señalado como el causante de sobre estimación. La tarea de N-Back garantiza que se atienda en la misma medida a las duraciones presentadas y que por lo tanto los posibles efectos solo puedan deberse a la carga que implica recuperar uno de los estímulos presentados.

Se ha demostrado que la memoria de trabajo es un almacén flexible en el que la información recuperada pierde precisión al aumentar en cantidad y se han propuesto modelos neurobiológicos que tratan de explicar cómo las duraciones son mantenidas y recuperadas de la memoria de trabajo. De entre los revisados, el modelo más apto para dar cuenta de secuencias de duraciones es posiblemente el de *multiplexing* (Gu, van Rijn y Meck 2015), sin embargo, sus predicciones aún no han sido del todo probadas.

Los trabajos de Ng, Tobin y Penney (2011) y Kononowicz y Van Rijn (2011) con la técnica de PREs en tareas de bisección temporal, permiten afirmar que estos paradigmas pueden ser más susceptible de ser considerados para hacer predicciones e hipótesis. En concreto, por sus hallazgos sobre el curso temporal de las ondas CNV y más específicamente, N1 y P2 como componentes que pueden ser indicadores de la codificación de intervalos temporales.

Así mismo, el trabajo de Tarantino et.al. (2010) reporta una onda que llama P150, que aparece tras la resolución de CNV en una tarea de discriminación. Mientras la CNV predomina en las áreas frontales, la P150 lo hace en electrodos parietales, por lo que se sugiere que puede estar relacionada con el Componente Positivo Tardío (LPCT por sus siglas en ingles), el cual se ha relacionado con procesos de comparación de magnitudes.

Considerando que Ng, Tobin y Penney (2011) atribuyen el curso temporal de la CNV a un proceso de acumulación de pulsos, Gu, van Rijn y Meck (2015) afirman que las oscilaciones en curso son reseteadas por los ítems entrantes; explicando que los PREs podrían reflejar el reseteo de oscilaciones. Así, se propone un experimento en el que los PREs resultantes reflejen la entrada de nuevos ítems, lo cual podría aparecer como perturbaciones en CNV a lo largo de las presentaciones de los estímulos. Por otro lado, si como dicen Kononowicz y Van Rijn (2011), la N1 refleja la disposición del sistema para procesar inputs, las características de esta onda deberían relacionarse con las respuestas de los participantes.

Aunque se ha reportado que la LCPT es una onda asociada a la dificultad en tareas de timing, resulta intrigante que en la tarea reportada por Paul et. al 2011 las amplitudes aumenten con la dificultad de la tarea, mientras que en otras tareas de N-back como la que reportan Watter, Gaffen y Gaffen(2001) la amplitud de P300 disminuya en función de la dificultad.

Por todo esto, el presente trabajo es un estudio con una tarea de bisección temporal en la que tras la fase de generalización el experimento continúa con un procedimiento de tipo N-back, empleando la técnica de PREs para indagar las posibles relaciones entre los patrones de respuesta de los participantes y las medidas de amplitud de P300. Un registro y análisis de potenciales relacionados a eventos contribuiría a una comprensión más profunda de las relaciones entre las duraciones percibidas y recordadas y sus correlatos psicofisiológicos.

Objetivo general

- Explorar si las representaciones de las duraciones en memoria de trabajo se mantienen estables y de no ser así, de qué manera se ven afectadas por un aumento en la carga de memoria de trabajo cuando en cada nivel de dificultad aumenta el número de ítems que el participante debe regresar en memoria.

Objetivos específicos

- Determinar si presentar una secuencia de duraciones y variar el lugar del ítem objetivo en una tarea de hasta N-Back 3, afecta los parámetros psicofísicos punto de bisección, limen diferencial y coeficiente de variación del timing intervalar, para determinar si las representaciones se ven afectadas por la posición que el target ocupa en el ensayo presentado. De ser el caso, esto se verá reflejado en los parámetros descritos a continuación.
- Constatar el efecto de las condiciones de recuperación mediante las medidas de teoría de detección de señales A' y B'' en una tarea de memoria N-Back 3 para explorar los efectos de la tarea sobre la precisión y el sesgo de respuesta.
- Utilizar los datos psicofísicos para describir si la tarea provoca un cambio en la variabilidad de las respuestas o si altera la extensión de las duraciones percibidas, para poner a prueba la hipótesis de que la memoria de trabajo es un almacén en el que los recursos se reparten de forma equilibrada entre los ítems que contiene.
- Describir la relación entre el aumento en la carga de memoria de trabajo mediante variaciones en la recuperación dadas por la carga de N-Back y la onda LCPT para constatar la hipótesis de que una mayor carga en recuperación requiere un mayor consumo de recursos neuronales y que por lo tanto generará ondas de mayor amplitud.

Método

Participantes

Participaron 20 estudiantes de los primeros semestres de la Facultad de Psicología, de entre 19 y 21 años de edad, siendo 10 hombres y 10 mujeres, de entre 18 y 20 años de edad, teniendo como único requisito de inclusión haber evitado las bebidas con cafeína o alcohol el día del experimento.

Los criterios de exclusión fueron reporte de uso o abuso de sustancias que alteraran el funcionamiento del sistema nervioso, uso reciente de alcohol, tabaco u otras drogas, reporte de alteraciones del sueño y uso de medicamentos. Los participantes leyeron y firmaron un consentimiento informado antes de iniciar el experimento.

Aparatos

- Dos computadoras Dell con sistema operativo Windows 10, con los programas Test Bench de Emotiv, Psychopy (Peirce, 2009) y Free Virtual Serial Port.
- Dos diademas Emotiv con 16 electrodos
- Dos pares de audífonos “In-ear” marca X-Mini con un máximo de 108 dB

Procedimiento

Se aplicó un cuestionario para determinar si se cumplía con los criterios de inclusión. Se tomaron las medidas del sistema 10/20 de posicionamiento de electrodos para electroencefalograma y se colocó la diadema Emotiv usando las medidas como guía. La duración aproximada de este procedimiento fue de 25 minutos.

Cuando el participante estaba conectado a la diadema y los datos podían visualizarse en el programa de registro TestBench, se iniciaba el programa Free Virtual Serial Port, que crea un puente para enviar un dato de Psychopy² a Test Bench cada vez que iniciaba o terminaba un ensayo.

Experimento

² Los detalles de la tarea programada en Psychopy se exponen en el apartado siguiente.

La tarea programada en Psychopy constó de dos sesiones, esto fue necesario por razones prácticas, como que los electrodos en la diadema pierden humedad y por lo tanto conductancia conforme pasa el tiempo, pero también para evitar fatigar a los participantes con el gran número de ensayos que les pedimos responder. En la primera sesión se presentaron las fases Entrenamiento, Discriminación, Bisección temporal, Entrenamiento *N-back* y *N-back* 3. La segunda sesión inició con una fase de bisección temporal seguida de la fase de *N-Back*. Dadas las combinatorias de estímulos presentados que se detallan mas adelante, tuvimos un total de 336 ensayos, con lo que fue necesario dividir la sesión en dos fases a fin de evitar efectos de cansancio de los participantes o perder la señal de EEG al secarse los electrodos de la diadema.

Los ensayos de cada fase para las dos sesiones iniciaron siempre con una pantalla blanca, con una duración de 500ms y en la que se mostraba la palabra “Atención” en letras rojas, las características de cada fase se detallan a continuación.

La primera sesión inició con la fase de Entrenamiento. En cada ensayo se presentó uno de dos posibles tonos con una duración de 1200ms o 600ms. A continuación, se exhibía una pantalla con la leyenda “El estímulo anterior fue Largo, presione la tecla L” si el tono era de 1200ms o una pantalla que indicaba “El estímulo anterior fue Corto, presione la tecla C”, para la alternativa de 600 ms. Cada duración se presentaba 8 veces de forma aleatoria, dando un total de 16 ensayos. La tecla L se asignó al dedo índice de la mano derecha y la C al dedo índice de la mano izquierda.

La segunda fase fue de Discriminación. Antes del primer ensayo, una pantalla le explicaba al participante que debía responder con la tecla C si el estímulo presentado era corto y L si el estímulo era largo. En esta fase, cada tono (600ms y 1200ms) se presentaba aleatoriamente 20 veces, para dar lugar a 40 ensayos. El tono era seguido de una pantalla roja, durante la cual el participante debía oprimir la tecla elegida. Esta fase sirvió como filtro, ya que el programa incluía una condicional que terminaba la sesión para los participantes que no alcanzaban un porcentaje de respuestas correctas de al menos 80%.

La tercera fase fue Generalización también llamada bisección temporal, se mostraba una pantalla con instrucciones similares a las de la fase anterior. A continuación, se presentaba uno de siete posibles tonos con duraciones de 600ms, 674ms, 757ms, 850ms, 955ms, 1073 ms y 1200 ms, las cuales están espaciadas de manera semi logarítmica. Cada

tono se presentaba cinco veces de manera aleatoria, para un total de 35 ensayos. Tras cada tono, se mostraba una pantalla roja durante la que el participante debía responder con la tecla C si el estímulo presentado era corto y L si el estímulo era largo.

Para iniciar la fase de Entrenamiento para N-back, una pantalla mostraba un texto explicando que en cada ensayo el participante escucharía tres tonos consecutivos, tras los que se le indicaría la posición por la que debería responder. Las secuencias presentadas estaban compuestas por dos tonos de duraciones corta o larga (600 o 1200 ms) y una duración aleatoria tomada de entre siete duraciones posibles (600ms, 674ms, 757ms, 850ms, 955ms, 1073 ms y 1200 ms). La duración aleatoria podía ocupar el primer, segundo o tercer lugar en la secuencia de tonos, como se muestra en la Tabla1, y su posición determinaba el tipo de ensayo. Supongamos que en un ensayo la secuencia presentada era 1200-600-757. En este caso las dos primeras duraciones son corta-larga y la tercera ha sido elegida al azar entre las siete posibles. A continuación, se presentaba una pantalla roja en la que se leía “La tercera duración fue corta, oprima la tecla C”.

Esta fase constaba de 12 ensayos, uno por cada posible combinación de duraciones Corta y Larga, junto con sus potenciales posiciones, las cuales se esquematizan en la tabla siguiente y se mantenían iguales para la fase de *N-back*.

Tabla 1: Condiciones de N-Back. Las incógnitas indican que la duración será aleatoria entre las 7 posibles.

Condición	N-Back 1	N-Back 2	N-Back 3
Corto-Corto	600-600-?	600-?-600	?-600-600
Corto-Largo	600-1200-?	600-?-1200	?-600-1200
Largo-Corto	1200-600-?	1200-?-600	?-1200-600
Largo-Largo	1200-1200-?	1200-?-1200	?-1200-1200

Una pantalla exponía las instrucciones para la fase de *N-back 3*, en donde se indicaba al participante que tras la secuencia aparecería una pantalla roja indicando cuál era la posición de la duración a la que debía responder. En cada ensayo se le presentaba una secuencia de tres duraciones, supongamos que para un ensayo la secuencia fue 1073-600-1200. Dado que la primera duración fue elegida de manera aleatoria, la pantalla siguiente mostraría la leyenda “¿De qué duración fue el primer estímulo?”.

La posición por la que el participante debía responder cambiaba de forma aleatoria de ensayo a ensayo y el texto subsecuente era consecuente con esto. Las combinaciones posibles de duraciones corta y larga que acompañaban a la duración aleatoria eran 12; para presentar las 7 duraciones posibles en ese esquema se necesitaron 84 ensayos. Después de 84 ensayos, aparecía una pantalla que indicaba un descanso cuya duración podía ser determinada por el participante, siempre que no excediera los cinco minutos para evitar que los electrodos se secaran. Tras el descanso, seguían 84 ensayos más para terminar con la sesión. A continuación, se muestra un diagrama que ilustra el orden de los eventos que componían un ensayo de N-Back.

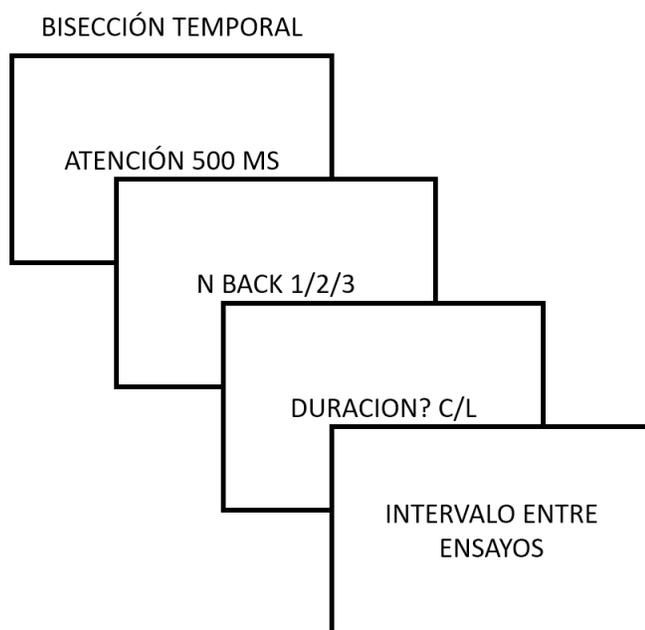


Diagrama 1: Secuencia de eventos de un ensayo N-Back, en cada ensayo se elegía una posición aleatoria entre las tres posibles para colocar ahí una duración tomada aleatoriamente de entre las 7 duraciones posibles, esta se indicaba más adelante como el target. La leyenda intervalo entre ensayos no aparecía en pantalla, se trata de una pantalla negra de 500ms. La Pantalla de N back duraba la suma de las duraciones presentadas, la pantalla para responder por la duración terminaba con la respuesta del participante o a los 2 segundos. El ultimo recuadro era una pantalla negra de 500ms que fungía como intervalo entre ensayos.

Con esta fase terminaba la primera sesión. En la tabla 2 se muestra el número de ensayos por fase y si se incluía una instrucción de respuesta, es decir, si al final de la presentación del estímulo se les indicaba a los participantes cuál era la respuesta esperada (la retroalimentación durante el entrenamiento) o por cuál de los estímulos presentados debían responder (en *N-Back*), en las otras condiciones no había una instrucción de respuesta porque

los participantes sabían que podía emitir su respuesta cuando la pantalla cambiaba de color y, una vez terminado el estímulo, no necesitaban información extra para responder.

Tabla 2: Numero de ensayos para cada fase de la sesión 1. Se indica si incluían retroalimentación.

Sesion1	Entrenamiento	Bisección	Generalización	Entrenamiento N-back 3	N-back 3
Ensayos	16	40	35	12	168
Instrucción de respuesta	Si	No	No	Si	No

En la Segunda sesión la estructura de cada fase se mantuvo igual que en la primera. En la fase de Entrenamiento las duraciones corta y larga se presentaron aleatoriamente cuatro veces. Se omitió la fase de Generalización. Las dos fases restantes, Entrenamiento para *N-Back3* y *N-Back 3*, se mantuvieron igual que en la primera sesión. En la tabla 3 se muestra el número de ensayos por fase y si incluían retroalimentación.

Tabla 3: Numero de ensayos para cada fase de la segunda sesión. Se indica si incluían retroalimentación.

Sesion2	Entrenamiento	Entrenamiento N-back 3	N-back 3
Ensayos	8	12	168
Retroalimentación	Si	Si	No

Registro de electroencefalograma para obtener potenciales relacionados con eventos

Al inicio de cada sesión experimental, se les colocó a los participantes la diadema EMOTIV. El registro de electroencefalograma (EEG) se realizó con una tasa de registro de 128 Hz, con 14 canales y 2 derivaciones de referencia en los mastoides. Los canales pertenecen al sistema 10-20 extendido y son AF3, AF4, F7, F8, F3, F4, FC5, FC6, T7, T8, P3, P4, P7, P8, O1 y O2. El sistema tiene una resolución de 14 bits, un ancho de banda entre 0.16 y 43Hz y corre con filtros digitales en 50 y 60Hz

Durante la tarea experimental, el programa Psychopy envió un marcador al programa de registro de Emotiv, TestBench. Los marcadores fueron programados para ser enviados, vía puerto serial virtual, tan pronto como el participante emitiera su respuesta a la pregunta “¿Fue largo o corto el [N-Back] estímulo que usted escuchó?”

El formato de los archivos de salida de EMOTIV incluyó columnas para los datos de cada uno de sus electrodos, pero también una columna específica en la que quedaron registrados los marcadores. El tiempo dentro de estos archivos está representado por un ciclo de 128 datos, con lo que fue posible saber con gran precisión en qué momento del experimento ocurrió un evento marcado. Dentro de Psychopy, todos los ensayos pertenecientes a N-Back 1 se programaron para enviar el marcador “111”, N-Back 2 y N-Back 3 fueron marcados con “222” y “333”, respectivamente.

Los archivos de salida de Psychopy son de tipo XLSX y permiten conocer el orden de presentación de todos los estímulos en el experimento, también indican las respuestas de los participantes, las cuales fueron clasificadas en correctas e incorrectas, para ello fue necesario ignorar la duración media (850ms) y tomar como correctos todos aquellos ensayos que fueron respondidos con la tecla L ante las duraciones 955,1073 y 1200ms y con la tecla C ante los estímulos 600,674 y 757ms.

Dado que conocíamos el orden de presentación de los eventos en Psychopy, pudimos generar una lista de posiciones de ensayos respondidos correctamente y cotejarla con la lista de marcadores de N-Back de los archivos de Emotiv. Este proceso terminó al obtener una lista que indicaba si los ensayos correspondían a N-Back 1, 2 o 3 y si fueron respondidos correctamente o no.

Los datos fueron procesados para su análisis mediante la Librería de EEGLAB de MATLAB versión 2015b y se filtró la señal entre 1 y 30Hz.

Los marcadores “111”, “222” y “333” fueron convertidos a las etiquetas N-Back-1, N-Back-2 y N-Back3 y se cotejaron los ensayos conductuales respondidos incorrectamente para eliminar los eventos de EEG asociados a los mismos. De los eventos resultantes, se cortaron ventanas de tiempo de 1700ms, incluyendo 500ms antes de la señal del evento y 1200ms después.

Se realizó una limpieza visual sobre las épocas de EEG ya cortadas. Se eliminaron las épocas que tenían más de un parpadeo, artefactos visibles con igual intensidad en todos los canales y segmentos con señal deficiente. Esto se hizo ignorando los marcadores para evitar favorecer alguna condición sobre otra en el número de ensayos a analizar.

Con este mismo objetivo, se identificaron los participantes con menos ensayos limpios, que fueron los participantes 6 y 13, siendo 47 y 42 ensayos para *N-Back 2* y *3* en el

participante 6 y 46 y 44 ensayos para el participante 13 en *N-Back* 2 y 3, respectivamente. Para el resto de los participantes se eligieron las 50 épocas más limpias de cada condición para el análisis.

Se utilizó ERPLAB para generar gráficas y promedios tanto por participante como una gráfica y un promedio general. Los datos promediados de cada participante fueron filtrados a 20 Hz, lo que atenuó la variabilidad entre las señales, de acuerdo con lo recomendado por Luck (2012). Con este paso pudimos confirmar algo que ya podía observarse al promediar los datos de participantes individuales; tras la respuesta, tuvo lugar una onda positiva con inicio cerca de los 200ms y que decrecía alrededor de los 600ms tras la respuesta del participante.

Análisis de datos conductuales (Psicofísica clásica)

Siete de los 20 participantes no se presentaron a la segunda sesión. Los trece restantes cumplieron con el criterio establecido de responder correctamente al menos el 80% de las veces en la fase de bisección de la primera sesión, es decir, tuvieron un buen índice de discriminación. De estos datos, solo se tuvieron seis participantes con datos completos: registro de EEG y de respuestas conductuales.

Como paso inicial para calcular parámetros psicofísicos, los datos de las fases de Bisección temporal, y *N-back* 3 se ajustaron a la siguiente función sigmoidea:

$$F = a / (1 + \exp(-(X - X_0)/b))$$

Donde:

X es la duración del estímulo.

a es el valor máximo de la función

X_0 es el punto de bisección

b es un parámetro para la pendiente

El punto de bisección es el punto en el que el 50% de las respuestas sería a la opción larga y el 50% a la opción corta, mientras que el Limen diferencial es el punto medio entre los momentos en que el 25% y el 75% de las respuestas serían para la respuesta larga. Estos puntos no derivan de las respuestas directas de los participantes, sino que se proyectan sobre la curva tras ajustar las respuestas a ella, según lo describe Church (2002).

Ajustar los datos a la función sigmoidea entonces, permitió generar los valores para el punto de bisección. Los otros valores que la función genera se usaron para obtener la Fracción de Weber, el Limen Diferencial y el Punto de Bisección. El Coeficiente de Variación se obtuvo dividiendo el Punto de Bisección por el Limen Diferencial.

Los datos de la fase de *N-back 3* fueron separados en las condiciones *N-back 1*, *N-back 2* y *N-back3*, tras lo cual fueron sometidas al ajuste de la función sigmoidea (ver Figura 1). También se obtuvieron los tiempos de reacción para cada una de las condiciones Generalización, y *N-back 1*, 2 y 3.

Dado que los datos de los parámetros psicofísicos no pasaron las pruebas de normalidad, se optó por un análisis con estadística no paramétrica. Los datos ingresados a las pruebas de Friedman fueron el punto de bisección, el limen diferencial y la fracción de Weber, entendida esta última como el resultado de dividir el limen diferencial por el punto de bisección.

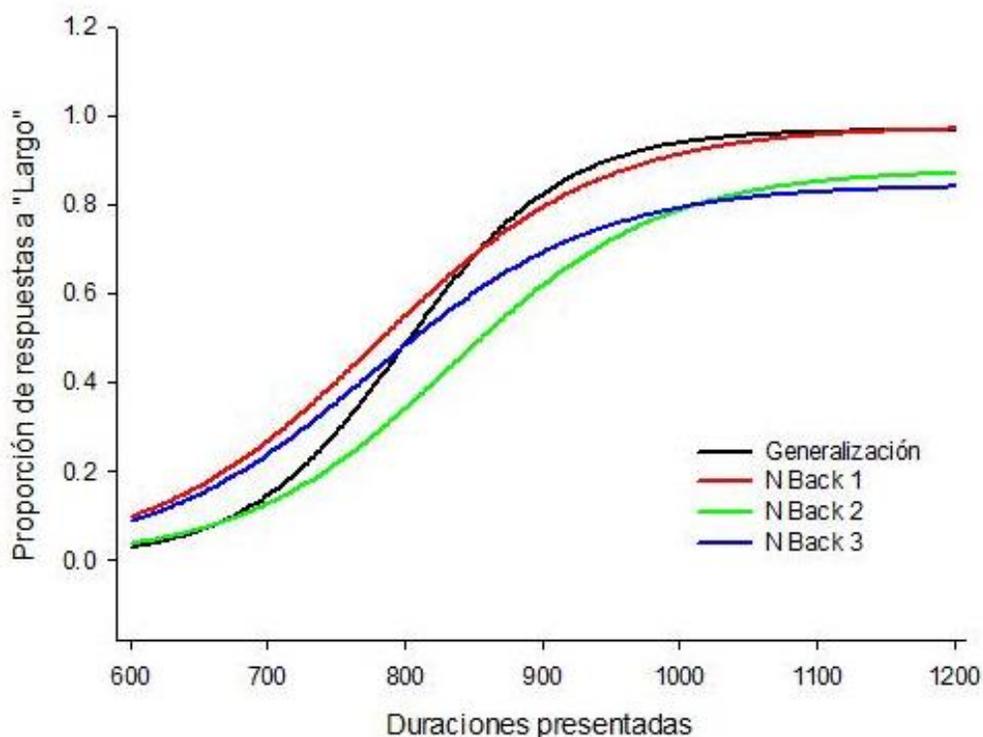


Figura 3: Curvas psicofísicas para las cuatro condiciones, resultado de ajustar los datos a la función $F=a/1(1+\exp(-(X-X0)/b))$, lo que es un paso previo a generar los parámetros psicofísicos.

Resultados

Resultados Conductuales (Psicofísica clásica)

En la figura 2 se grafican la fracción de Weber que se obtiene dividiendo el limen diferencial de cada participante por su punto de bisección, y a la derecha la gráfica del coeficiente de variación, que se extrajo al dividir el promedio del limen diferencial de los 7 participantes entre el promedio del punto de bisección, con lo cual no se graficaron datos de error para coeficiente de variación.

Al correr la prueba de Friedman para los parámetros psicofísicos, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para los datos de Punto de Bisección pero sí para el Limen diferencial y Fracción de Weber, con valores de .034 y .014 respectivamente. Esto refleja un aumento en la variabilidad de las respuestas asociado al aumento en carga de memoria de trabajo derivado del aumento en N-Back.

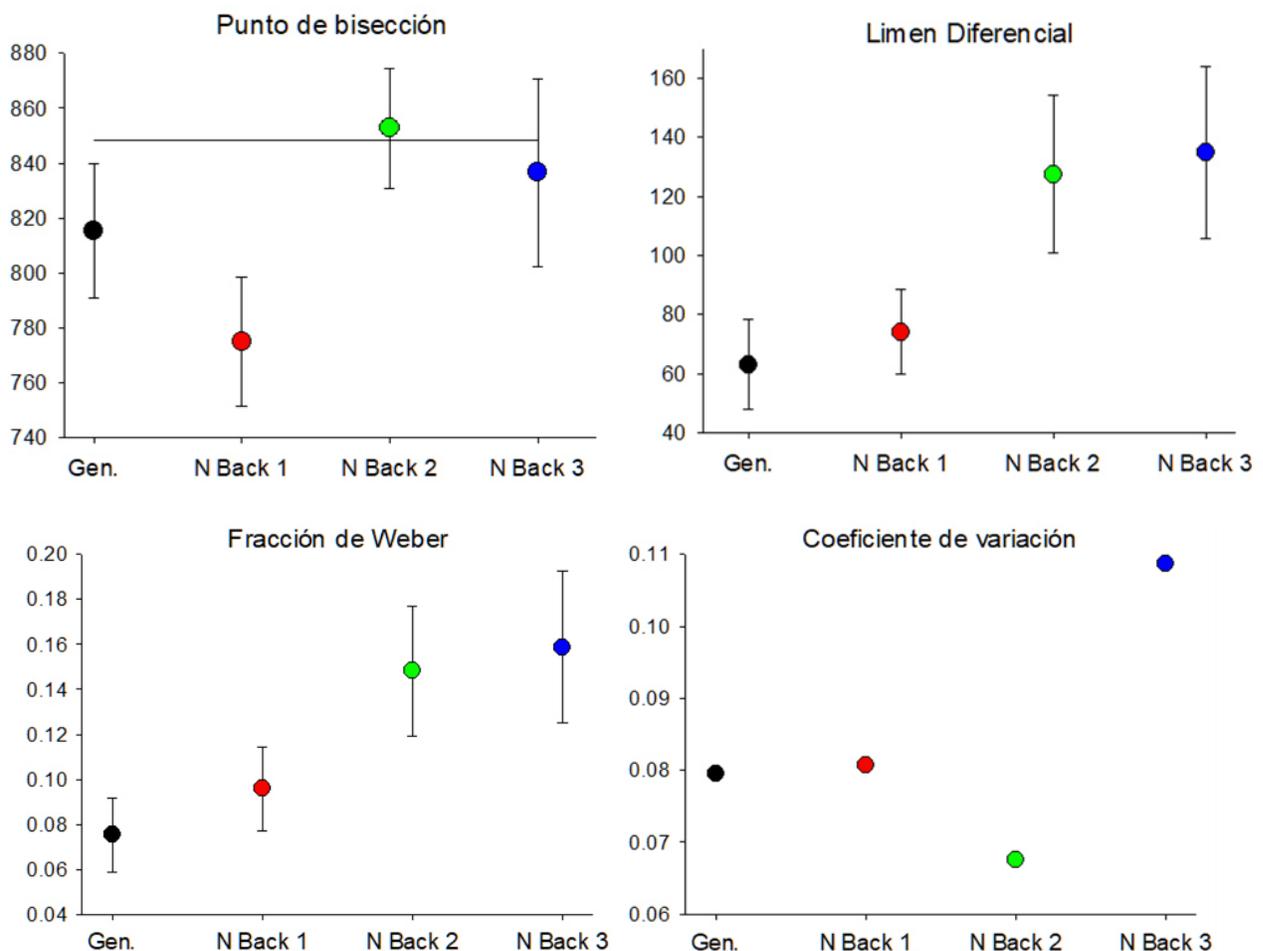


Figura 4: Los parámetros psicofísicos para las cuatro condiciones se muestran en el eje Y. El punto de bisección es el momento en el que el 50% de las respuestas son a largo y el resto a corto, se indica con una línea la media geométrica. El Limen diferencial es el punto entre el 25 y el 75% de respuestas a largo. La fracción de Weber es resultado de dividir el limen

Los datos de los tiempos de reacción se ajustaron a una distribución normal, por lo que se utilizó un ANOVA para comparar entre las cuatro condiciones. El ANOVA mostró diferencias estadísticamente significativas entre las condiciones. El análisis post hoc de Bonferroni mostró que las diferencias sólo se presentaron al comparar entre la condición de generalización y el resto de las condiciones (ver Figura 3), lo cual pudo deberse a la manera en que se presentaron los ensayos de N-Back, porque estos tuvieron una instrucción escrita que no estaba presente en la condición de generalización.

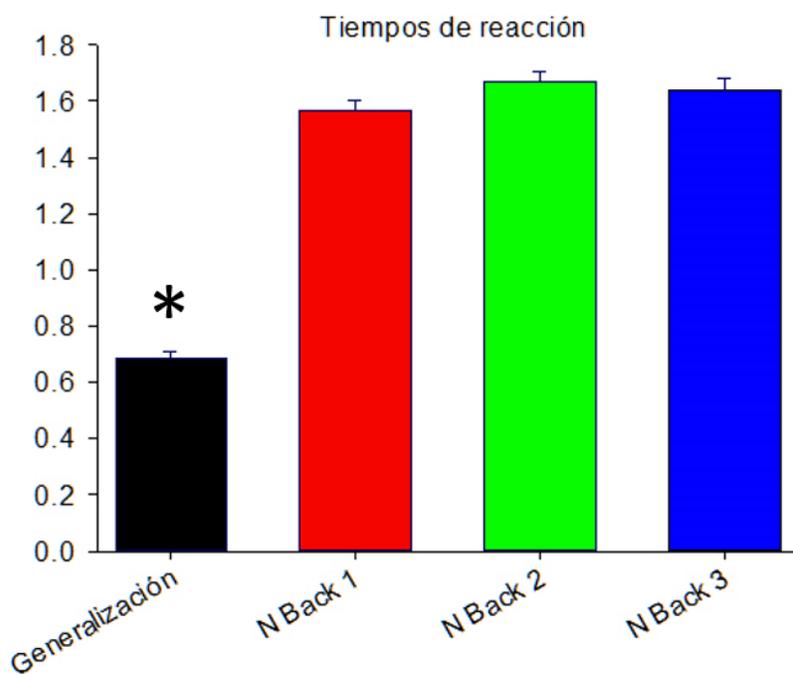


Figura 5: Tabla de tiempos de reacción en segundos para las cuatro condiciones, medidos a partir de la presentación de la pregunta "El estímulo que escuchó en [N] lugar ¿fue corto o largo?".

Análisis desde Teoría de detección de señales

Para obtener los parámetros de teoría de detección de señales con las respuestas de los participantes, se definió como señal a las tres duraciones cortas (600ms, 674ms, 757ms), se ignoró la duración central (850ms) y se consideró ruido a las tres duraciones largas (955ms, 1073 ms y 1200 ms).

Para los datos de “B”, ninguna condición mostró datos con distribución normal. Una prueba de Friedman demostró diferencias estadísticamente significativas al comparar las cuatro condiciones, con un valor de $p=.005$. Esta misma prueba mostró diferencias significativas para el parámetro A', para las cuatro condiciones con un valor de $p=.013$

Es importante mencionar que la medida de precisión A' puede tomar valores entre .5 y 1, donde 1 representa ejecución perfecta y .5 es el valor que la medida toma cuando la señal es indistinguible de ruido. En cuanto al parámetro B", toma valores de entre -1 y 1, donde 1 es un sesgo extremo a responder “sí/corto” y -1 un sesgo extremo a responder “no/largo”

Resultados del análisis de Teoría de Detección de Señales

La disminución del parámetro A' refleja una pérdida de sensibilidad que confirma una mayor dificultad asociada a cada paso de N-Back, mientras que la disminución en B" sugiere que las representaciones se están “extendiendo”. Los promedios para A' y B" se muestran en la figura 6, donde el eje X es el valor de cada parámetro y el eje Y las diferentes condiciones.

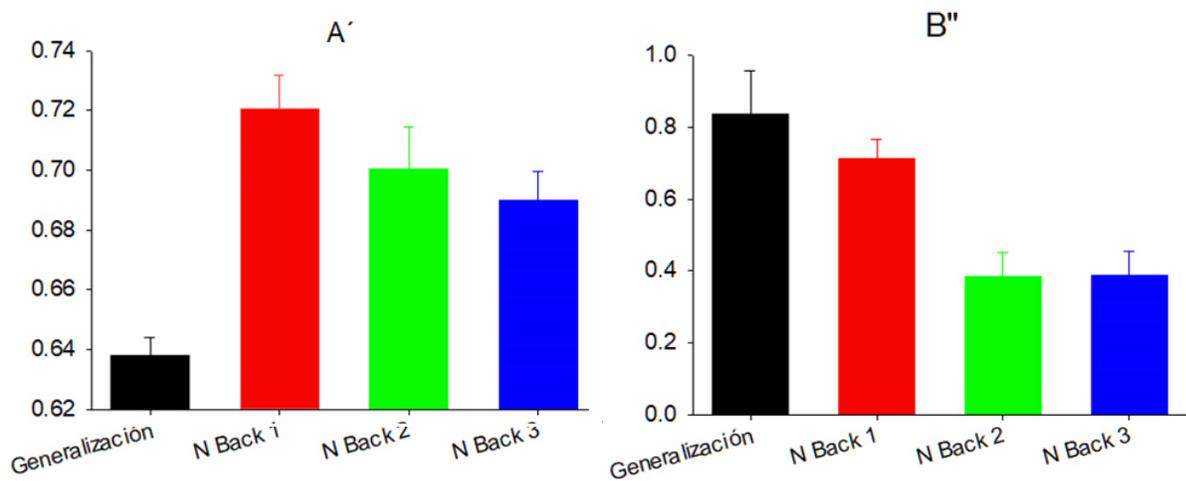


Figura 6: Parámetros de teoría de detección de señales. A' es una medida de la precisión en la discriminación donde 1 representa ejecución perfecta y .5 indica nula discriminación. B" es un indicador del sesgo de respuesta. Cuando tiende a 1 indica sesgo a responder “corto”.

Análisis de datos de Potenciales relacionados con eventos

Existen dos opciones para reportar valores de amplitud de PREs: 1) en términos de un pico local encontrado dentro de cierta ventana de tiempo establecida o 2) tomar una ventana temporal y obtener el valor promedio de los puntos en ese rango. Las medidas de pico no son lineales, es decir, toman valores diferentes al obtener su valor del promedio de ensayos por sujeto y compararlos con la gran media, además son susceptibles a errores derivados de componentes que pueden estar presentes en las orillas de la ventana temporal. La amplitud promedio es lineal, es decir que si tenemos 10 sujetos con 10 eventos obtendremos el mismo resultado promediando los 100 eventos que si obtenemos la media de cada sujeto y las promediamos después, además esta medida nos permite obtener medidas de dispersión que son útiles para reportar los estadísticos.

Se tomaron las gráficas resultantes de promediar las épocas de las condiciones N-Back1, N-back2 y N-back3 para cada participante, y se utilizó una herramienta de ERPLAB para extraer los datos de la amplitud promedio de las épocas en una ventana de tiempo entre los 200 y 600ms, tomando como punto cero el momento de la respuesta del participante ante la pregunta “El sonido que usted escucho en [N] posición ¿fue corto o largo?”.

La Figura 5 muestra el gran promedio para todos los participantes y canales. Cada línea es el resultado del promedio de 50 ensayos de su condición correspondiente para los 7 participantes, es decir, el resultado de promediar 350 ensayos respondidos correctamente. Se puede observar que en los electrodos frontales AF3, F7, F8 y AF4 hay una onda positiva con latencia de aproximadamente 300ms. Esta misma gráfica presenta los electrodos ordenados según la posición que ocupan en la cabeza, en la figura 7 en la página siguiente.

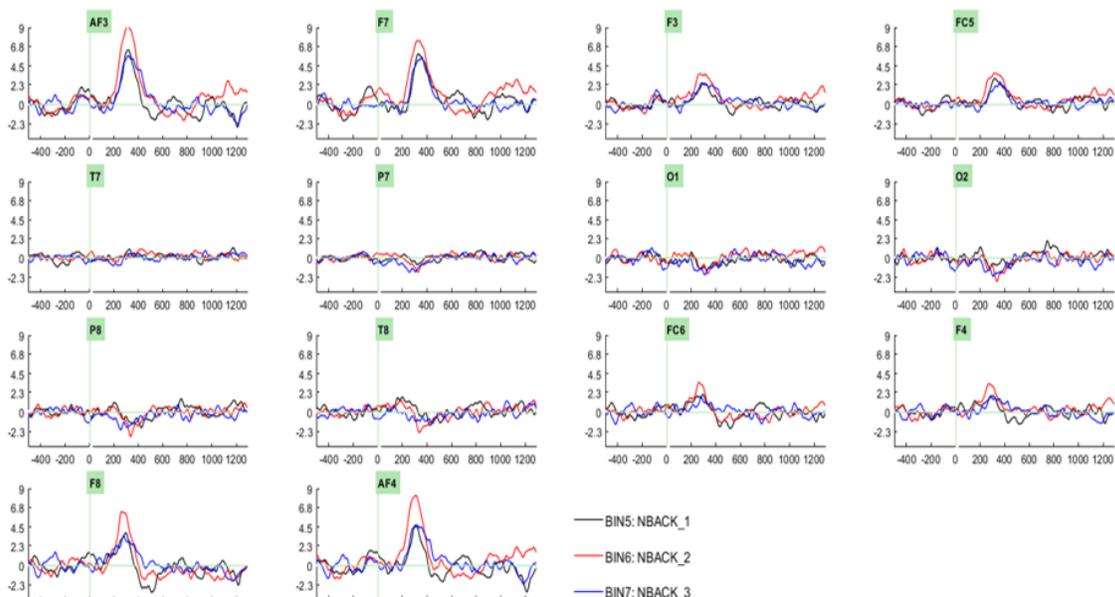


Figura 7 Gran promedio de las condiciones N-Back. Cada grafica representa un canal, dentro de ellas cada línea corresponde a una condición. Se muestran todas las derivaciones de la diadema Emotiv. En el eje de las X está la latencia, en el eje de la Y se muestran las amplitudes en micro volts.

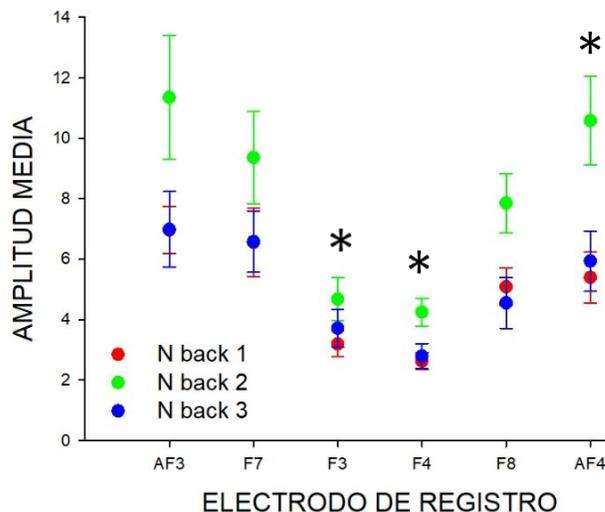


Figura6: Grafica de las amplitudes medias del gran promedio, en un rango entre 200 y 600ms tras las respuestas de los participantes, se indica el error estándar y se muestran los seis electrodos frontales de entre los cuales se reportaron diferencias significativas para Af3, F4 y Af4

significativas entre las amplitudes para las condiciones se aplicó una prueba de Kruskal Wallis.

Resultados del análisis de PREs

Se encontraron diferencias significativas para 3 de los 8 canales analizados: F3, AF4 y F4. La diferencia reportada indica que la condición N-Back2 generó mayores amplitudes que las condiciones N-Back1 y N-Back3. El hecho de que haya actividad en los electrodos frontales indica que hemos logrado capturar la actividad neuronal asociada a los procesos de decisión, porque son las zonas frontales de la corteza las que están relacionadas con la toma de decisiones sobre la longitud de duraciones, como lo indican Paul et. al 2011.

El orden de las amplitudes, sin embargo, es algo que debe tratarse en la discusión porque la condición que se considera más difícil es N-back3 y no es la que genera mayores amplitudes de onda. Podemos adelantar que estos resultados no son propios de una tarea de

N-Back dual como la que describen Watter, Geffen y Geffen(2001). A continuación, se muestra una gráfica para las amplitudes de los electrodos frontales de la diadema, incluyendo el error estándar.

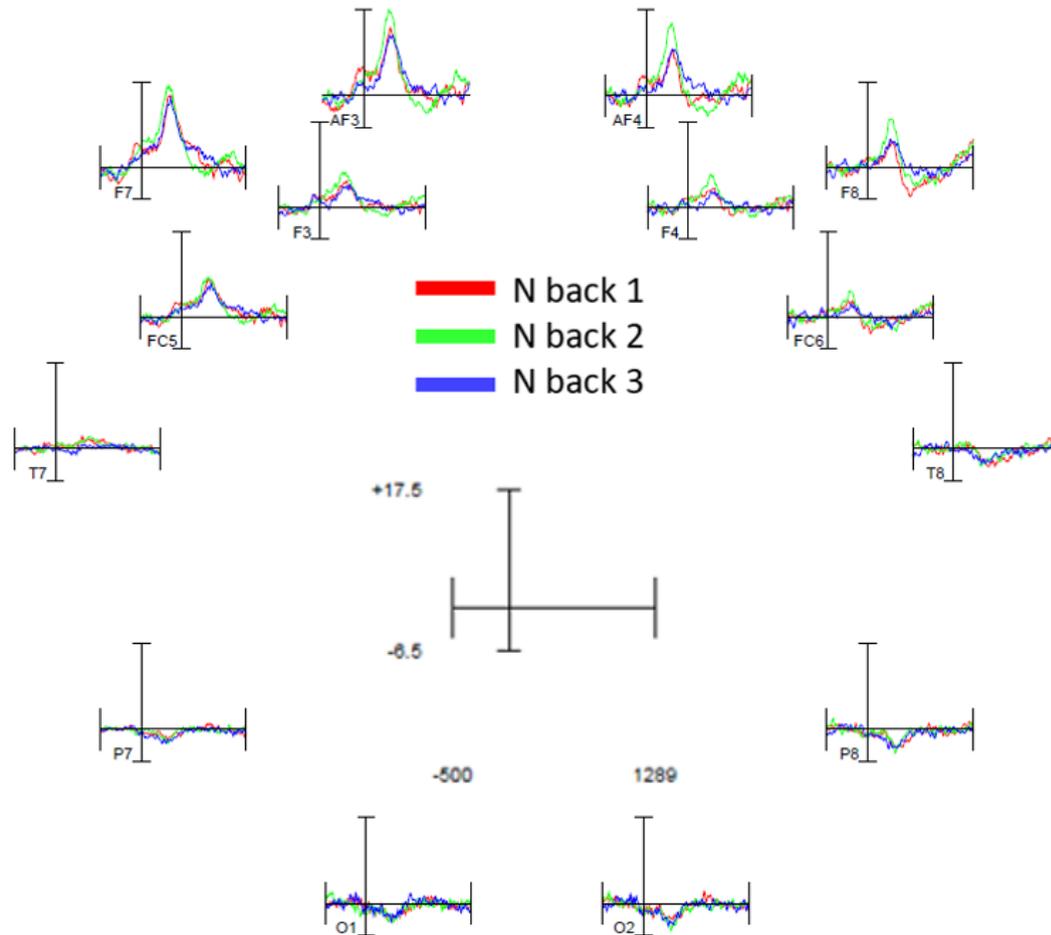


Figura 7: Gráficas resultantes de promediar 350 ensayos por cada condición. Esta gráfica y la gráfica presentada en la figura 6 se exponen ampliadas en los anexos.

Discusión y conclusiones

A lo largo de este trabajo se ha hablado de la manera en que la carga en memoria de trabajo, específicamente en el momento de la recuperación, puede afectar las representaciones de duraciones en el organismo. La tarea utilizada surge como una manera de aproximarse a la

cuestión planteada por la discusión sobre la forma de las representaciones de duraciones en memoria de trabajo. Se parte entonces de la concepción de un sistema de percepción temporal con tres estadios: Un marcapasos, un acumulador y un comparador (Zakay y Block, 1997), siendo este último el asociado a la decisión y al que estaremos apelando al hablar de los efectos encontrados con la tarea aquí descrita.

Para poder interpretar los datos aquí presentados, hay que tener en cuenta que en el caso de los datos de la condición de Generalización, para este trabajo la condición control, comúnmente se espera que el punto de bisección se ubique cerca del valor de la media geométrica de las dos duraciones extremas presentadas (Allan y Gibbon, 1991), que en este caso sería 848.52 (Ver figura 2). Dado de que los participantes desde un inicio no generan datos típicos en la condición control, debemos interpretar los datos posteriores con cautela. Hay que notar además que las duraciones utilizadas están dentro del rango en el que se espera que se mantenga la propiedad escalar.

Desde el punto de vista del modelo SET, una característica que se ha reportado como constante empírica es la propiedad escalar, que consiste en que la variabilidad de las duraciones subjetivas aumenta de manera lineal conforme aumentan las duraciones objetivas (Gibbon 1977). Si bien esta propiedad ha sido encontrada en un amplio número de tareas tanto en animales como en humanos, las condiciones en las que se le puede encontrar no son tan amplias. Según explica Grondin (2014), la medida que se tiene en cuenta para verificar la propiedad escalar es el coeficiente de variación, que se mantiene constante conforme aumenta el tamaño de las duraciones objetivas. Este valor tiende a variar cuando las duraciones son muy cortas o muy extensas (por debajo de los 100ms y encima de los 1.3 segundos aproximadamente) y cuando se presentan varios ítems por ensayo.

En ese contexto no resultan extraños los efectos reportados en este trabajo que señalan diferencias en la Fracción de Weber y el Limen Diferencial mientras se mantiene constante el punto de bisección. Además, se pueden interpretar como efectos de aumento en la variabilidad de las respuestas que estarían asociados con procesos de decisión; dado que se controló la presentación de secuencias para que todas las combinaciones posibles fueran presentadas en las condiciones de *N-Back*, se descarta que estos efectos se deban a la duración de los ensayos.

La tarea presentada por Manohar y Hussain (2016) es muy similar a la estructura de la tarea utilizada en esta tesis, sin embargo, ellos variaron el número de ítems que presentan en cada ensayo; la manipulación aquí utilizada mantiene constante el número de ítems por ensayo, lo que podría ser importante para interpretar las diferencias en los valores psicofísicos, porque se ha sugerido que la memoria de trabajo no es un almacén con una capacidad fija como se pensó inicialmente, sino que las representaciones que aloja pueden verse distorsionadas al aumentar el número de ítems (Manohar y Hussain, 2016).

El hecho de que no se encontraran diferencias entre las condiciones de N-Back para punto de bisección, pero sí para las medidas de coeficiente de variación y limen diferencial, nos permite confirmar que hay una pérdida en la resolución temporal asociada al aumento en carga de memoria de trabajo en el momento de la decisión y que este cambio no se debe al tamaño del conjunto presentado, sino solamente al número de lugares en el tiempo que el participante debió recorrer para responder correctamente.

Los cambios reportados en la Fracción de Weber y el Limen Diferencial son efectos de aumento de variabilidad asociada al incremento en la carga de memoria de trabajo en recuperación, el parámetro A' de teoría de detección de señales también mostró diferencias significativas, indicando una disminución en la precisión de las estimaciones. Se observa que el menor valor de precisión se presenta en la condición de generalización y en las condiciones de *N-Back* donde observó una disminución proporcional al valor del *N-Back*.

También encontramos diferencias estadísticamente significativas en el parámetro B'' para la Teoría de Detección de Señales: dado que se estableció “corto” como señal, interpretamos que, mientras B'' se acerca más a 1, hay mayor sesgo para responder a “corto”, siendo este valor mayor en generalización y *N-Back 1* que en *N-Back 2* y *3*, lo que significa que las representaciones estarían alargándose con el aumento de carga en la recuperación. Recordemos que Stanislaw y Todorov (1999) explican que B'' puede entenderse como una representación del punto en el que se sitúa el criterio de decisión, por lo que los cambios encontrados en el parámetro B'' pueden atribuirse al componente de decisión de los modelos de reloj interno. Por su parte el parámetro A' , que se refiere a precisión, estaría confirmando que hay un aumento en la dificultad de la tarea asociado al número de lugares en el tiempo que hay que regresar durante la recuperación.

Se concluye entonces que hay una disminución en la precisión de las duraciones recordadas, acompañado de una baja en la tendencia a responder a “corto”. Esta diferencia no se puede atribuir a la duración de los ensayos porque todas las condiciones contenían las mismas combinaciones de duraciones. Tampoco puede decirse que se deba a variaciones en la carga en memoria de trabajo en sentido estricto, porque no se varió el tamaño de los conjuntos ni se utilizó un flujo continuo de ensayos que pudiera requerir un trabajo de actualización constante de memoria de trabajo. Más bien, estos efectos se deben a la manipulación sobre la recuperación, al parecer mientras más lugares en el tiempo debe regresar el participante para responder correctamente, menos preciso y más largo recuerda el estímulo indicado.

Estos resultados indican que los efectos encontrados en tareas clásicas de *N-Back* son en parte debidos al número de ítems entre los que se debe recuperar, y en cierta medida también al lugar que ocupa el estímulo objetivo en ese conjunto, la contribución de este trabajo aísla y explora la segunda cuestión. Al presentar duraciones iguales no se esperan cambios en la Fracción de Weber, solo se espera que esta medida aumente cuando se incrementa la duración de los estímulos procesados, sin embargo, sí se encontró un aumento en la variabilidad (Fracción de Weber) que confirma el efecto de nuestra manipulación.

Solo una diferencia fue encontrada en los tiempos de reacción: al comparar la condición de generalización con las tres restantes. Este cambio puede deberse al hecho de que las tres condiciones de *N-Back* contenían una instrucción escrita, a diferencia de generalización, en donde el participante sabía qué hacer en cuanto terminaba el tono presentado. Finalmente, para hablar de los datos de EEG hay que recordar el trabajo de Paul et. al. (2011) en el que se reporta que la onda LCpT (componente positivo tardío de timing) está asociada con la dificultad de las condiciones experimentales, siendo un reflejo de la actividad inhibitoria necesaria para evitar las activaciones neuronales asociadas a respuestas inadecuadas. Dado que la onda aquí reportada fue registrada tomando como punto cero el momento en que los participantes emitieron su respuesta, se puede sugerir que se trata justamente de LCpT.

Aunque estos resultados concuerdan con los encontrados en el experimento de Paul et. al (2011), aquella tarea solo comparaba condiciones con diferente dificultad en una fase de generalización, mientras que la tarea de *N-Back* que utilizaron Watter, Geffen y

Geffen(2001) parece ser más similar al N-Back aquí presentado y sus resultados muestran una disminución de la amplitud asociada al aumento en dificultad de las tareas. Esto podría llevarnos a pensar que los resultados del presente trabajo son contradictorios, sin embargo, hay que tener en cuenta que el trabajo de Watter, Geffen y Geffen (2001) considera a N-Back como una tarea dual, en donde hay un proceso que constantemente actualiza las representaciones de los ítems que aparecen durante la tarea, con un segundo proceso encargado de manipular los ítems recordados para identificar cuál de ellos corresponde al N-Back del ensayo en cuestión.

La tarea del presente trabajo, por otro lado, fue modificada de forma que en cada ensayo se presentaron solo tres ítems de entre los que el participante debía identificar si uno de ellos coincidía con uno de los ítems aprendidos previamente. En este sentido, no hay una fuerte carga sobre el proceso de mantenimiento y actualización de los ítems, con lo que los recursos pueden dedicarse al proceso de manipulación, lo que resulta en un aumento de la amplitud registrada para la condición más difícil de la tarea y confirma que la tarea modificada de N-Back fue exitosa en su cometido de afectar principalmente a los procesos de decisión, es decir no es una tarea dual.

Aunque se reportan diferencias significativas en los electrodos F3, AF4 y F4, asociados a la corteza prefrontal dorsolateral, que está implicada en toma de decisiones, llama la atención que el mayor efecto no se muestre en *N-Back 3*, de la que se esperaría que fuera la condición que representa mayor carga cognitiva. Por el contrario, fue la condición *N-Back 2* la que presentó mayor amplitud de onda, seguida por *N-Back 1*, dejando al final a la onda asociada a *N-Back 3*. Este orden de efectos podría sugerir un efecto de primacía en el que el primer ítem de la secuencia se encuentra en un lugar privilegiado por haber tenido más tiempo para consolidarse su representación, mientras que el ultimo es el más disponible por haber ocurrido más pronto, dejando en desventaja a los ítems correspondientes a *N-Back2*.

Por lo tanto, se confirma la idea de Manohar y Hussain (2016) de que el almacén de memoria para tiempo puede contener un número variable de ítems y que los recursos destinados a los mismos no necesariamente serán distribuidos de manera uniforme. Como lo muestra esta tarea de N-Back, los eventos más cercanos y más lejanos en el tiempo se ven privilegiados por su posición, los primeros por estar disponibles, los segundos por haber ocurrido tiempo atrás suficiente para consolidarse y ser recuperados correctamente.

Esto quiere decir que la relación entre carga cognitiva y actividad en la corteza prefrontal dorsolateral, específicamente en el momento posterior a la respuesta del participante, no es lineal y merece exploración más detallada. Pero se confirma que la actividad registrada concuerda con el modelo de disparo estriatal de Matell y Meck (2004), donde se describe que las estructuras implicadas en timing intervalar incluyen el segmento interno del globo pálido, la sustancia nigra pars reticulata y el tálamo, haciendo énfasis en que el tálamo se comunica vía el estriado con la corteza frontal, estructura esta última que se ha relacionado con la toma de decisiones y que ya ha sido foco de estudio de trabajos que diferencian entre etapas de codificación de las duraciones y la fase de decisión, como es el caso de Paul et al. (2003).

Desafortunadamente, no hay un registro claro de los datos de EEG correspondientes a la línea base, dado que se presentaron pocos ensayos para la línea base y el proceso de limpieza de la señal no dejó datos suficientes para poder ser analizados con el detalle y la precisión requerida. Lo mismo pasa con las subcondiciones del experimento, por ejemplo, con las combinaciones corto-corto o largo-corto de estímulos que acompañaron al target en la condición experimental y con las comparaciones entre respuestas a targets cortos y largos. Por lo que sería interesante para un trabajo futuro encontrar la manera de reducir las condiciones necesarias para este tipo de experimentos y así maximizar el número de ensayos a presentar sin extender la tarea de forma que se vuelva agobiante para los participantes.

También se recomienda ampliamente correr un nuevo experimento en el que se comparen los tiempos de reacción a las condiciones de este experimento, pero con una instrucción visual que sea más rápida de atender, por ejemplo, indicando con imágenes la posición del estímulo a recuperar.

En síntesis, la manipulación utilizada en este trabajo logró tener un efecto sobre los procesos de decisión, que se manifiesta en cambios en la variabilidad de las respuestas y en el criterio de decisión de los participantes. Se argumenta entonces que una forma específica de carga de memoria de trabajo es el número de ítems que se ha de mover uno en el tiempo al recordar y no solo el tamaño del conjunto recordado, y que este tipo de actividad cognitiva es susceptible de ser explorada también mediante registro de PREs.

Referencias

- Allan, L. & Gibbon, J. (1991). Human Bisection at the Geometric Mean. *Learning and Motivation*, 22, 39-58. doi: 10.1016/0023-9690(91)90016-2
- Allman, M.J., Teki, S., Griffiths, T.D. & Meck, W.H. (2014). Properties of the Internal Clock: First and Second-Order Principles of Subjective Time. *The annual Review of Psychology*, 65: 743-771. doi:10.1146/annurev-psych-010213-115117
- Andersen, H. (2014). The Development of the ‘Specious Present’ and James’ Views on Temporal Experience. En Lloyd & Arstilla(Eds.) *The Philosophy, Psychology, and neuroscience of temporality* (pp. 25-42). MIT Press.
- Berger H (1929) Über das elektroencephalogramm des menschen. Arch Psychiatr Nervenkr 87(1):527–570
- Block, R.A. y Zakay, D (2008) Timing and Remembering the Past, the Present and the Future en S.Grondin (Ed.), *Psychology of time* (pp. 367-394). Bingley, Emerald.
- Block, R.A. & Zakay, D. (1997). Prospective and Retrospective Duration Judgments: A Meta-Analytic Review. *Psychonomic Bulletin & Review* 1997,4(2), pp. 184-197 doi: 10.3758/BF03209393.

- Block, R.A. Hancock, P.A. & Zakay, D. (2010). How Cognitive Load Affects Duration Judgments: A Meta-Analytic Review. *Acta Psychologica*,134. 330–343 doi: 10.1016/j.actpsy.2010.03.006
- Buzaki, Gyorgy,(2006) Rhythms of the brain. Oxford University Press.
- Catania, A.C., (1970). Reinforcement schedules and psychophysical judgments:a study of some temporal properties of behavior. In: Schoenfeld, W.N. (Ed.), *The Theory of Reinforcement Schedules*. Appleton-Century-Crofts, Inc.
- Church, R. M., & Deluty, M. Z. (1977). Bisection of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 3 (3) 216-228. doi:10.1037/00977403.3.3.216
- Church, R. M. (2002). Temporal learning. En H. Pasler & R. Gallistel (Eds.), *Steven's Handbook of Experimental Psychology*, Third Edition: Volume 3, Learning, Motivation and Emotion. (pp.365-393). Wiley.
- Cohen, J.D. (1997) Temporal Dynamics of Brain Activation During a Working Memory Task. *Nature*, 386, 604-608. doi:10;386(6625):604-8.
- Cohen, M.X. (2014). *Analyzing Neural Time Series Data. Theory and Practice*. The MIT Press.
- Costa, A.K. Machado, A. & Santos, J.A. (2013). Effects of Motion on Time Perception. *Behavioral Processes*, 95, 50-59 doi: 10.1016/j.beproc.2013.02.002
- Delorme, A. & Makeig, S. (2004). EEGLAB: An Open Source Toolbox for Analysis of Single-Trial EEG Dynamics Including Independent Component Analysis. *Journal of Neuroscience Methods*. 134, 9-21. doi: 10.1016/j.jneumeth.2003.10.009
- Domjan M. (2010) *Principios de aprendizaje y conducta*. Cengage Learning Editores.Mexico
- Friedman W.J. (1993) Memory for the Time of Past Events. *Psychological Bulletin*,113, 44-66.
- Gallistell, C.R. & Gibbon J. (2000) Time, Rate and Conditioning. *Psychological Review*. 107,2, 289-344. doi: 10.1037/0033-295X.107.2.289

- Gamache, P & Grondin, S. (2008). Temporal Limits of Memory for Time. En: B. Schneider, B. M. Ben-David, S. Parker, & W. Wong (Eds.), *Fechner Day: Proceedings of the 24th Annual Meeting of the ISP*, 173-178
- Gevins, A. S., Bressler, S. L., Cutillo, B. A., Illes, J., Miller, J. C., Stern, J., & Jex, H.R. (1990). Effects of prolonged mental work on functional brain topography. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 76(4), 339_350. doi:10.1016/0013-4694(90)90035-I
- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, 84(3), 279-325. doi: 10.1037/0033-295X.84.3.279
- Grondin, S. (2014) About the (Non) Scalar Property for Time Perception En: H. Merchant y V. de la Fuente(Eds.) *Neurobiology of Interval Timing*.(pp. 17-32). -Springer.
- Grondin, S. (2005). The Structure of Sensory Events and the Accuracy of Time Judgments. *Perception*, 34, 45-58 doi:10.1068/p5369
- Grondin, S. (2010). Timing and time Perception: A review of Recent Behavioral and Neuroscience Findings and Theoretical Directions. *Attention, Perception & Psychophysics*, 72 (3), 561-582 doi:10.3758/APP.72.3.561
- Gruat, A., Delgado, J.M, Escobar, C. & Roblero, A.R. (2003). *Los Relojes que Gobiernan la Vida.*, Primera Edición, Fondo de Cultura Económica, 197 pp.
- Gruber, O., Kleinschmidt, A., Binkofski, F., Steinmetz, H., and Von Cramon, D. Y. (2000). Cerebral correlates of working memory for temporal information. *Neuroreport* 11, 1689–1693. doi: 10.1097/00001756-200006050-00019
- Gu, B., M., van Rijn & H., Meck, W.H. (2015). Oscillatory Multiplexing of Neural Population Codes for Interval Timing and Working Memory. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews* 48.160–185. doi: 10.1016/j.neubiorev.2014.10.008
- Harrington, D., L., Haland, K., Y., & Knight R., T., (1998). Cortical Networks Underlying Mechanism of Time Perception. *The Journal of Neuroscience* 18,3 1085-1095. doi:10.1523/JNEUROSCI.18-03-01085.1998

- Hass, J. & Durstewitz, D. (2014) Neurocomputational Models of Time Perception En: H. Merchant y V. de la Fuente(Eds.) *Neurobiology of Interval Timing*.(pp. 1-13) New York: Springer.
- Hass, J. y Durstewitz, D. (2014) *Neurocomputational Models of Time Perception* En: H. Merchant y V. de la Fuente(Eds.) *Neurobiology of Interval Timing*.(pp. 1-13) Springer.
- Hinton, S.C., Meck, W.H. & MacFall, J.R. (1996). Peak-Interval Timing in Humans Activates Frontal-Striatal Loops. *NeuroImage*. doi: 10.1016/S1053-8119(96)80226-6
- Hoerl, C. & McCormack (2001). Perspectives on Time and Memory, an Introduction. En: C. Hoerl. *Time and Memory: Issues in Philosophy and Psychology*. (pp.1-33) United States: Clarendon Press.
- Killeen P. R. (2001). The Four Causes of Behavior. *Current directions in psychological science*, 10(4), 136–140.doi:10.1111/1467-8721.00134
- Jaeggi, S.M., Buschkuhl, M., Perrig, W.J. & Meier, B. (2010). The Concurrent Validity of the N-Back Task as a Working Memory Measure. *Memory*, 18(4), 394-412. doi: 10.1080/09658211003702171
- James, William. (1981). The principles of psychology, Volumes I and II, Harvard University -Press.
- Jozefowicz, J. & Machado, A. (2013). On the content of learning in interval timing: Representations or associations? *Behavioural Processes* 95 8–17. . doi:10.1016/j.beproc.2013.02.011
- K, C., Soutschek, A., Schubert, T., & Gerjets, P. (2017). Comparison of the Working Memory Load in N-Back and Working Memory Span Tasks by Means of EEG Frequency Band Power and P300 Amplitude. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 6. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00006>

- Kirchner, W. K. (1958). Age differences in short-term retention of rapidly changing information. *Journal of Experimental Psychology*, 55(4), 352-358. doi: 10.1037/h0043688
- Kononowicz, T.W. and van Rijn, H. (2011) Slow Potentials in Time Estimation: The role of Temporal Accumulation and Habituation. *Frontiers in Integrative Neuroscience*. Vol 5. 48. 1-10. doi: 10.3389/fnint.2011.00048.
- Kononowicz, Van Rijn & Meck (2016). Timing and Time Perception: A Critical Review of Neural Timing Signatures Before, During and After the To-Be-Timed Interval. En: J. Wixted(Ed.) *Stevens' Handbook of Experimental Psychology and Cognitive Neuroscience*. (Vol II). Wiley.
- Lustig, C., Matell, M. S. Meck W. H. (2005) Not “just” a Coincidence: Frontal-Striatal Interactions in Working Memory and Interval Timing. *Memory*, 13,3/4, 441-448. doi:10.1080/09658210344000404
- Macar F, Vidal F, Casini L. The supplementary motor area in motor and sensory timing: evidence from slow brain potential changes. *Experimental Brain Research*. 1999 Apr;125(3):271-80. doi: 10.1007/s002210050683. PMID: 10229018.
- Macar, F & Vidal, F. (2004) Event-Related Potentials as Indices of Time Processing: A Review. *Journal of Psychophysiology* 18, 89–104. doi: 10.1027/0269-8803.18.23.89.
- Macar, F. & Vidal, F. (2003) The CNV Peak: An Index of Decision Making and Temporal Memory. *Psychophysiology*, 40, 950–954 doi: 10.1111/1469-8986.00113
- Macar, F. et Al (2002). Activation of the Supplementary Motor area and of Attentional Networks During Temporal Processing. *Experimental Brain Research* 142:475–485 doi:10.1007/s00221-001-0953-0
- Makeig, S., et al. (1996). Independent Component Analysis of Electroencephalographic Data. *Advances in Neural Information Processing Systems*. 145-151. doi: 10.1007/978-1-4615-5351-9_17

- Manohar, S.,G., y Husain, M., (2016). Working Memory for Sequences of Temporal Durations Reveals a Volatile Single-Item Store. *Frontiers in Psychology*. Vol 7.1-11 doi: 10.3389/fpsyg.2016.01655
- Mariq, A., V., y Church, R.M. (1983). The Differential Effects of Haloperidol and Methamphetamine on Time Estimation in the Rat. *Psychopharmacology* 79:10-15. doi:10.1007/BF00433008
- Martin RC, et. Al. (2004) Manipulation of inhibition demands in a working memory task: evidence from patient and ERP data. Poster presented at the Cognitive Neuroscience Society Annual Meeting, April, San Francisco.
- Matell, M.,S., y Meck, W., H., (2004). Cortico-Striatal Circuits and Interval Timing: Coincidence Detection of Oscillatory Processes. *Cognitive Brain Research* 21, 139-170. doi: 10.1016/j.cogbrainres.2004.06.012
- Matell, S., M., & Meck, W., H., (2000). Neuropsychological mechanism of interval timing behavior. *BioEssays* 22:94–103. doi:10.1002/(SICI)1521-1878(200001)22:1<94: AID-BIES14>3.0.CO;2-E
- Matthews, W., J., y Meck W., H., (2016). Temporal Cognition: Connecting Subjective Time to Perception, Attention, and Memory. *Psychological Bulletin*. Vol. 142, No. 8, 865–907 doi: 10.1037/bul0000045
- Meck, W. H. y Church, R.M. (1985). Temporal integration in duration and Number Discrimination. *Journal of Experimental Psychology*. 11, 4: 591-597. doi:10.1037/0097-7403.11.4.591
- Merchant, H. & de la Fuente, V. (2014). Introduction to the Neurobiology of the Interval Timing. En: Merchant, H. y de la Fuente, V (Eds.) *Neurobiology of Interval Timing*. (pp. 1-13) Springer.
- Miall, R.C. (1989). The storage of time intervals using oscillating neurons. *Neural Computation* 1. 359– 371. doi: 10.1162/neco.1989.1.3.359

- Nagai, Y., Critchley H.D., Featherstone, E., Fenwick, P. B. C., Trimble, M.R., and R.J. Dolan. (2003) *Brain Activity Relating to the Contingent Negative Variation: an fMRI Investigation*. *NeuroImage* 21: 1232-1241.
- Nagai, Y., Critchley, H.D., Featherstone, E., Fenwick, P.B.C., Trimble. M.R. & Dolan R.J. (2004). Brain Activity relating to the Contingent Negative Variation: an FMRI Investigation. *NeuroImage* 21. 1232– 1241. doi: 10.1016/j.neuroimage.2003.10.036
- Nenadic, I. Gaser, C., Volz H., P., Rammsayer, T., Häger, F., & Sauer, H., (2003). Processing of Temporal Information and the Basal Ganglia: New Evidence from FMRI. *Experimental Brain Research* 148: 238-246. doi:10.1007/s00221-002-1188-4
- Ng, K.K., Tobin, S. & Penney, T.B. (2011). Temporal Accumulation and Decision Processes in the Duration Bisection Task Revealed by Contingent Negative Variation. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 5:77 doi: 10.3389/fnint.2011.00077
- Paul, I., Wearden J., Bannier, D., Gontier, E., Le Dantec, C., & Rebaï, M., (2011). Making Decisions About Time: Event-related Potentials and Judgements About the Equality of Durations. *Biological Psychology* 88. 94– 103. doi: 10.1016/j.biopsycho.2011.06.013
- Pavlov, Ivan (1926) en: *La psicología moderna: textos básicos para su génesis y desarrollo histórico*. coord. José María Gondra Rezola, 2003, págs. 473-487
- Peirce J.W. (2009). Generating stimuli for neuroscience using PsychoPy. *Front. Neuroinform.* 2:10. doi:10.3389/neuro.11.010.2008
- Pfeuty, M., Ragot, R., & Pouthas, V., (2003). When Times is up: CNV Time Course Differentiates the roles of the Hemispheres in the Discrimination of Short Tone Durations. *Experimental Brain Research*. 151: 372-379. doi:10.1007/s00221-003-1505-6
- Picton, T.W., Bentin, S., Berg, P., Donchin, E., Hillyard, S., A., Jhonson, JR, Miller, G.A., Ritter, W., Ruchkin, D.S., Rugg, M.D., & Taylor, M.J. (2000). Guidelines for Using Human Event-Related Potentials to Study Cognition: Recording Standards and Publication Criteria. *Psychophysiology*, 37, 127–152.

- Postle, B.R (2006). Working Memory as an Emergent Property of the Mind and Brain. *Neuroscience*. 139(1): 23–38. doi: 10.1016/j.neuroscience.2005.06.005
- Rao, S., M., Mayer, A., R., & Harrington, D., L., (2001). The evolution of brain activation during temporal processing. *Nature Neuroscience*. Vol 4, No 3. 317-323. doi:10.1038/85191
- Ruchkin, D.S., McCalley, M.C. & Glaser, E.M. (1977). Event Related Potentials and time estimation. *The Society for Psychophysiological Research* 14:5 451-455. doi:10.1111/j.1469-8986.1977.tb01311.x
- Sánchez Ramos., R., (2013). *Estimación Temporal Retrospectiva: Rastreando el Tiempo en un Procedimiento de N-Back*. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Psicología.
- Shapiro, K. L., Raymond, J. E., and Arnell, K. M. (1997). The attentional blink. *Trends in Cognitive. Science*. 1, 291–296. doi: 10.1016/S1364-6613(97)01094-2
- Scharinger, C., Soutschek, A., Schubert, T., & Gerjets, P. (2017). Comparison of the Working Memory Load in N-Back and Working Memory Span Tasks by Means of EEG Frequency Band Power and P300 Amplitude. *Frontiers in human neuroscience*, 11, 6. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2017.00006>
- Shivde GS, Thompson-Schill SL (2004) Dissociating semantic and phonological maintenance using fMRI. *Cognition Affect Behavior and Neuroscience* 4:10–19
- Tarantino, V., Ehlis, A., C., Baehne, C., Boreatti-Huemmer, A., Jacob, C., O., Bisiacchi & Fallgatter, A. J. (2010). The Time Course of Temporal Discrimination: An ERP Study. *Clinical Neurophysiology* 121. 43–52. doi: 10.1016/j.clinph.2009.09.014
- Tecce, J. J. (1972). Contingent negative variation (CNV) and psychological processes in man. *Psychological Bulletin*, 77(2), 73–108. <https://doi.org/10.1037/h0032177>
- Teki, S. & Griffiths, T. D. (2014). Working memory for time intervals in auditory rhythmic sequences. *Frontiers in Psychology*, 5, Article 1329. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01329>

- Treisman, M., (1963). Temporal Discrimination and the Indifference Interval: Implications for a Model of the “Internal Clock”. *Psychological Monographs*, 77, 13, 1-31. doi:10.1037/h0093864
- Walter, W., Cooper, R., Aldridge, V. J., Mccallum, W. C. & Winter, A. L. (1964). Contingent Negative Variation: An Electric Sign of Sensorio-motor Association and Expectancy in the Human Brain. *Nature*, 203, 380-384. doi:10.1038/203380a0
- Watter S, Geffen GM, Geffen LB. (2001). The n-back as a dual-task: P300 morphology under divided attention. *Psychophysiology*. 2001 Nov;38(6):998-1003. doi: 10.1111/1469-8986.3860998. PMID: 12240676.
- Zakay, D., & Block, R. A. (1997). Temporal cognition. *Current Directions in Psychological Science*, 6(1), 12–16.

ANEXO1 Consentimiento informado

Ilustración 1: Consentimiento informado para los participantes

Espacio compartido de Investigación

Facultad de Psicología

Consentimiento informado

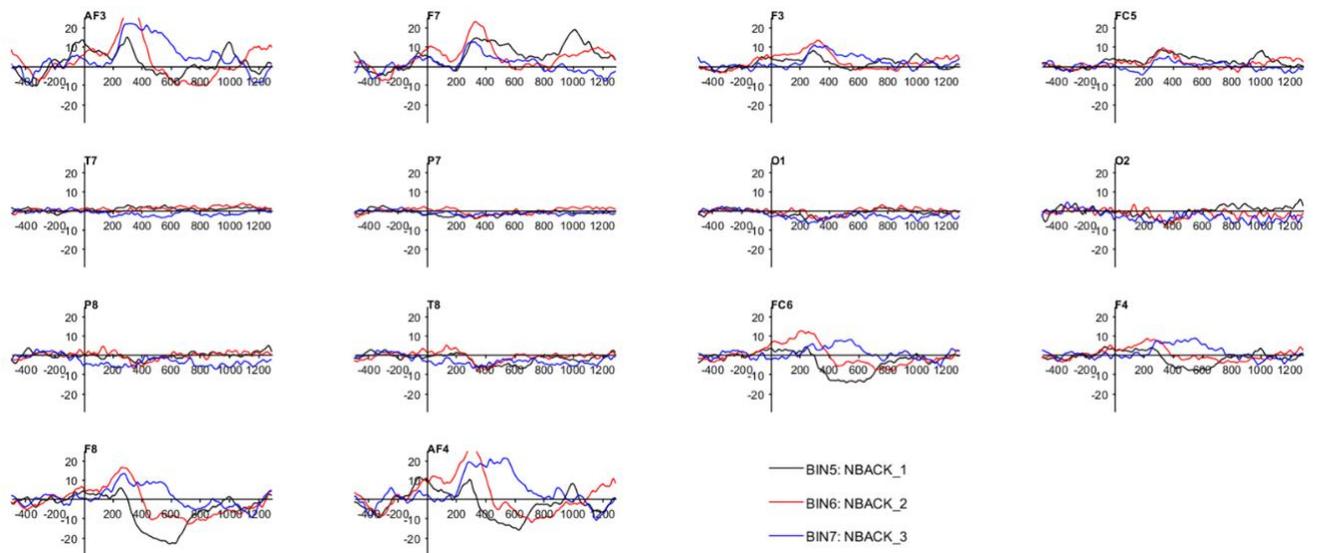
Estimado participante:

Este es un experimento conductual que busca explorar la manera en que las personas recuerdan intervalos de tiempo. De ningún modo busca evaluarlo y las respuestas que usted nos proporcione serán analizadas estadísticamente por lo que desde el inicio del análisis nos aseguraremos de proteger su identidad cambiando los datos que nos proporcione por un código de identificación. Asimismo evitaremos compartir con terceros cualquier dato personal que usted pueda proporcionarnos.

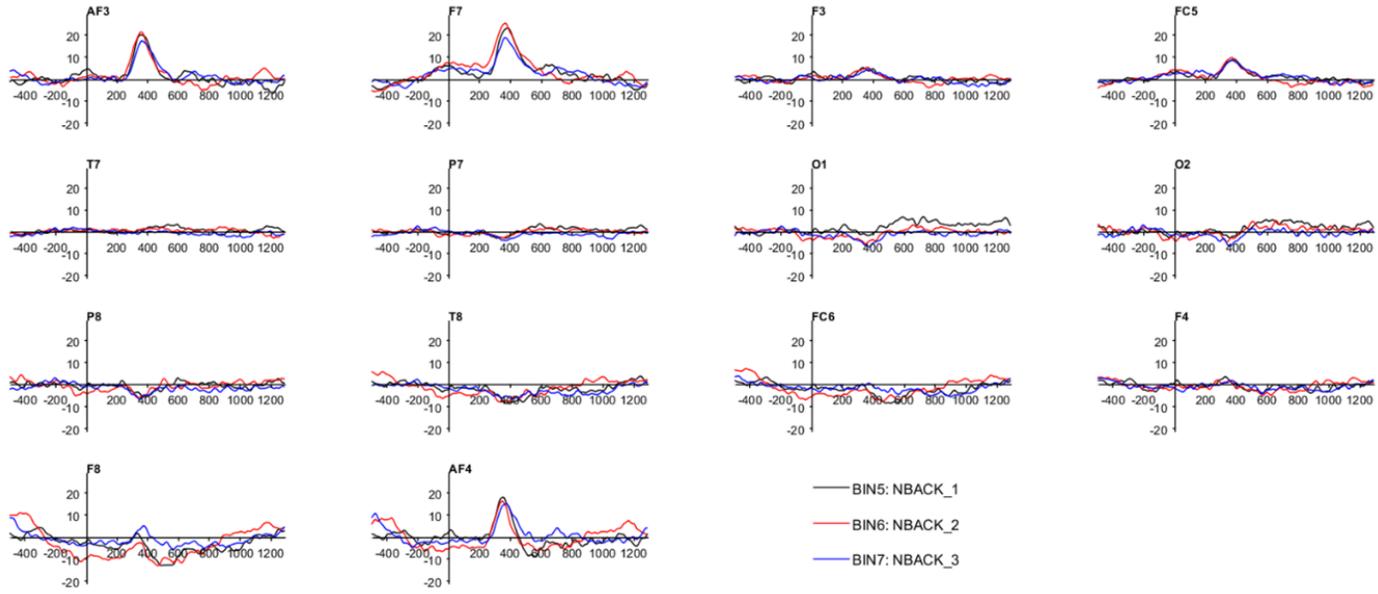
El experimento tiene una duración aproximada de 2 horas, repartidas en dos sesiones de una hora cada una. Cada sesión incluye un registro de electroencefalograma para lo que será necesario que un experimentador le coloque una diadema, este es un proceso que consiste en limpiar el cuero cabelludo con alcohol y mover su cabello de forma que permita colocar los electrodos. Por lo anterior le pediríamos que asista con el cabello lavado únicamente con shampoo y evite el uso de acondicionador u otros cosméticos.

Si está de acuerdo en lo anterior, le pediremos que firme debajo en el espacio indicado, sin embargo usted es libre de abandonar el experimento en cualquier momento sin que esto resulte en cualquier tipo de represalia.

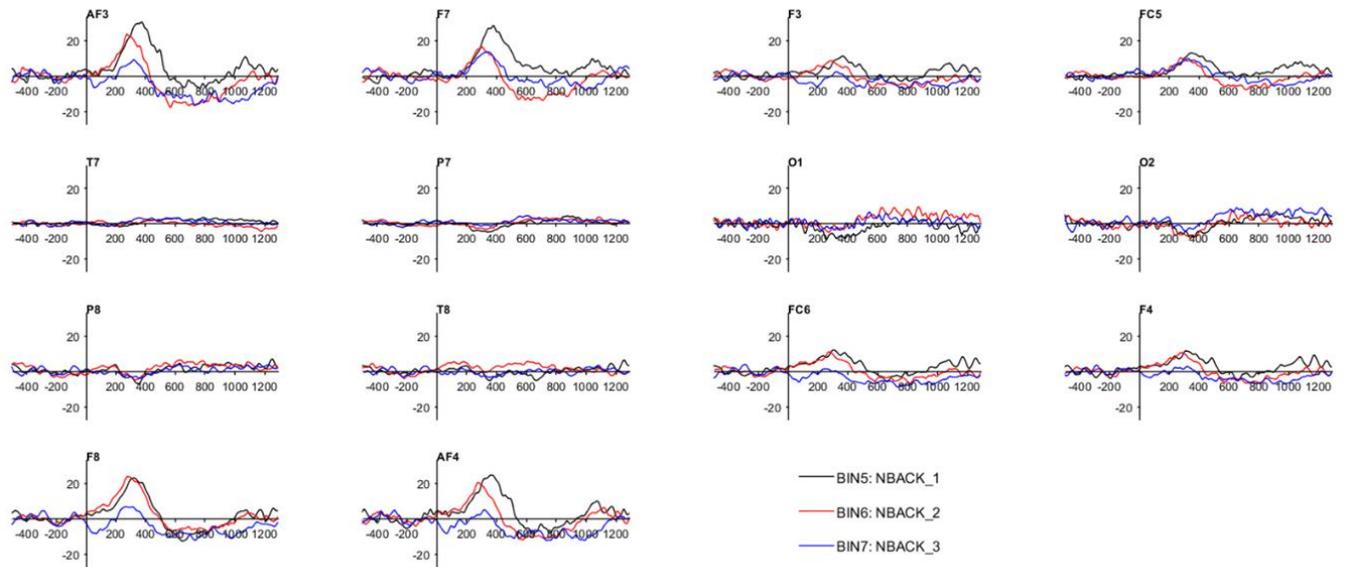
ANEXO2 Promedios por participante de 50 ensayos respondidos correctamente.



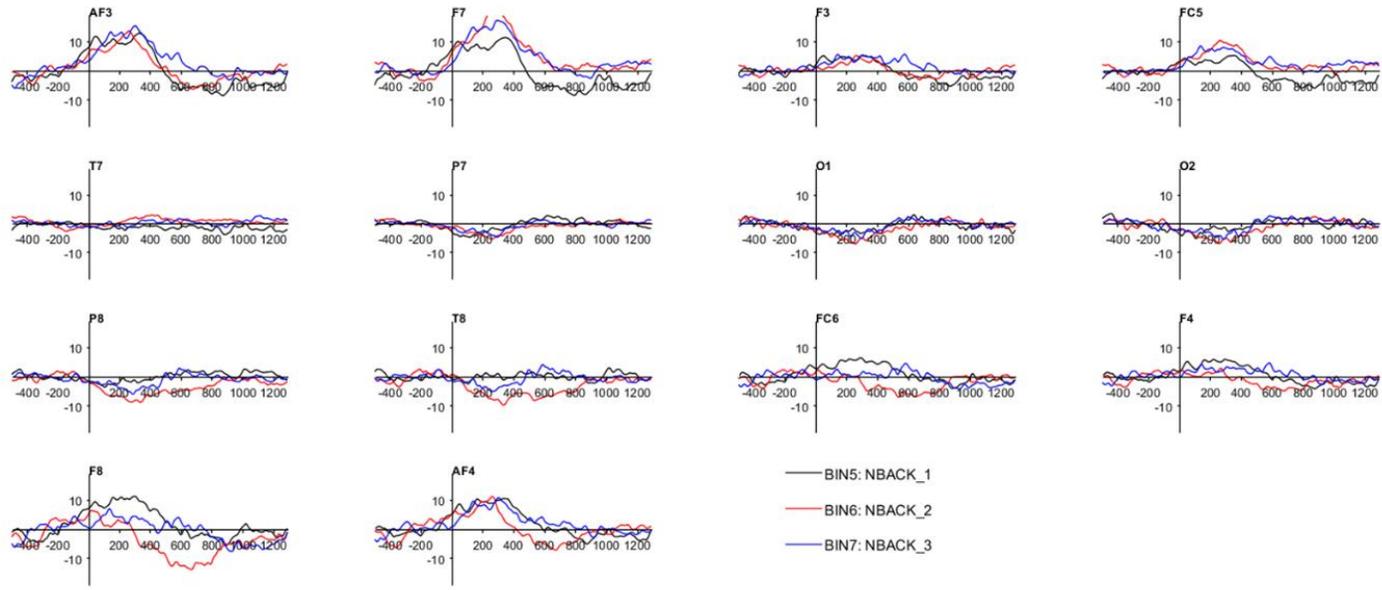
Grafica 1: Promedio de las condiciones N-Back, participante 6



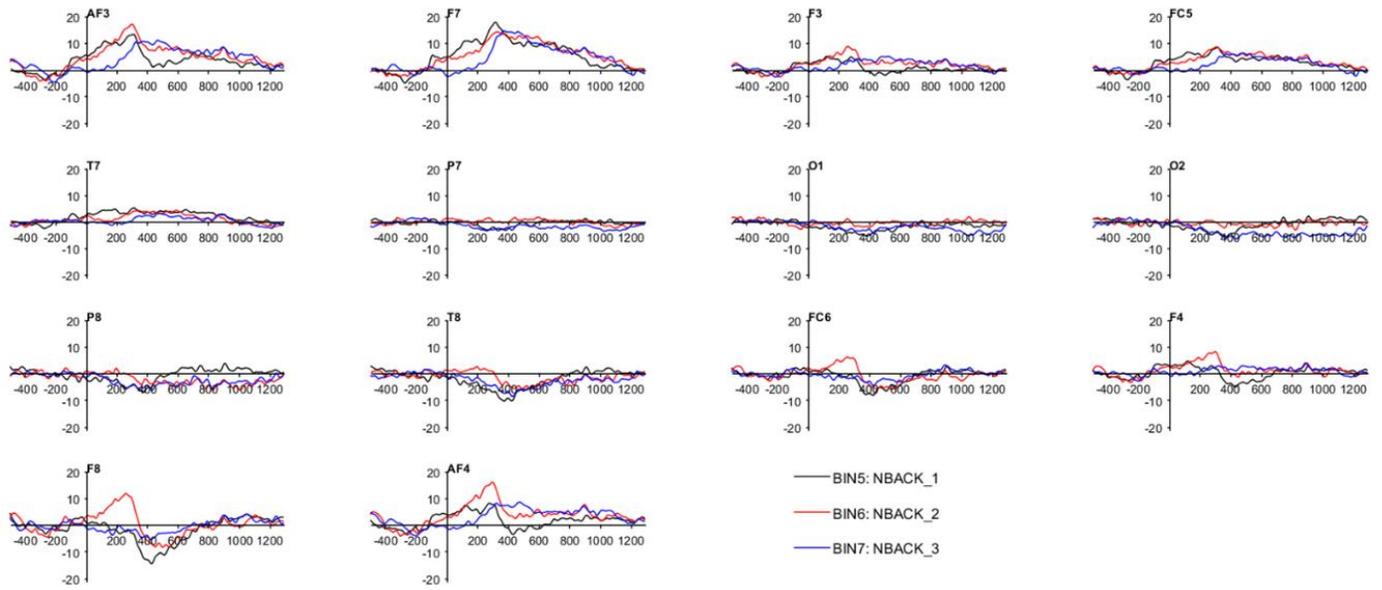
Grafica 2 Promedio de las condiciones N-Back, participante 7



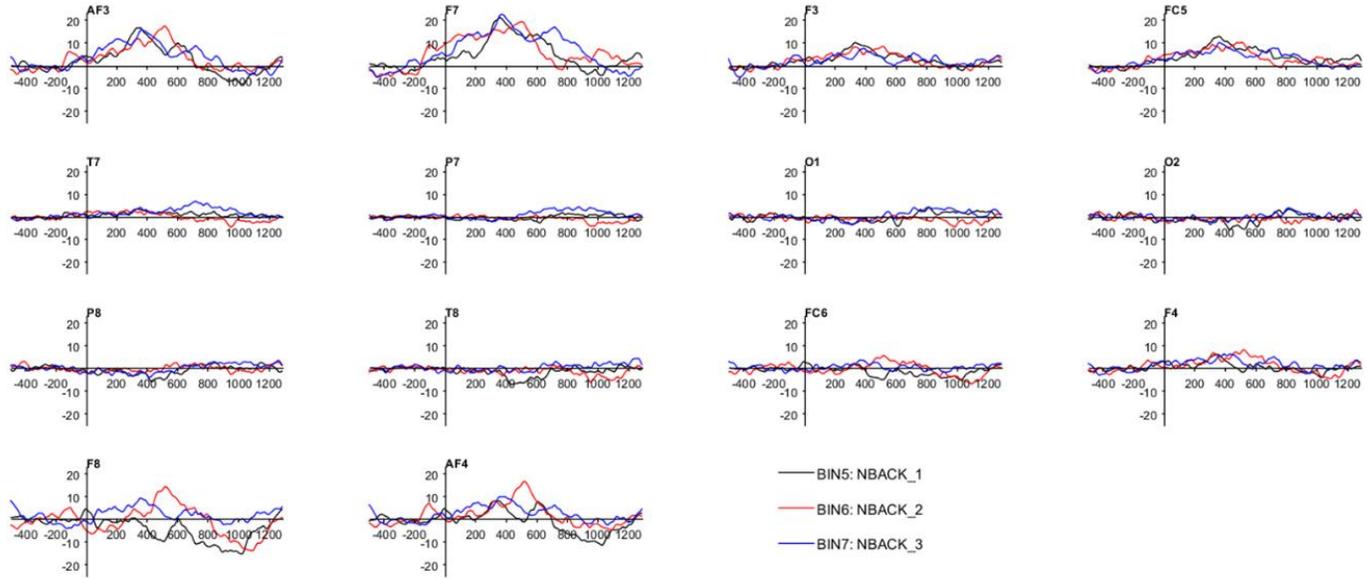
Grafica 3 Promedio de las condiciones N-Back, participante 8



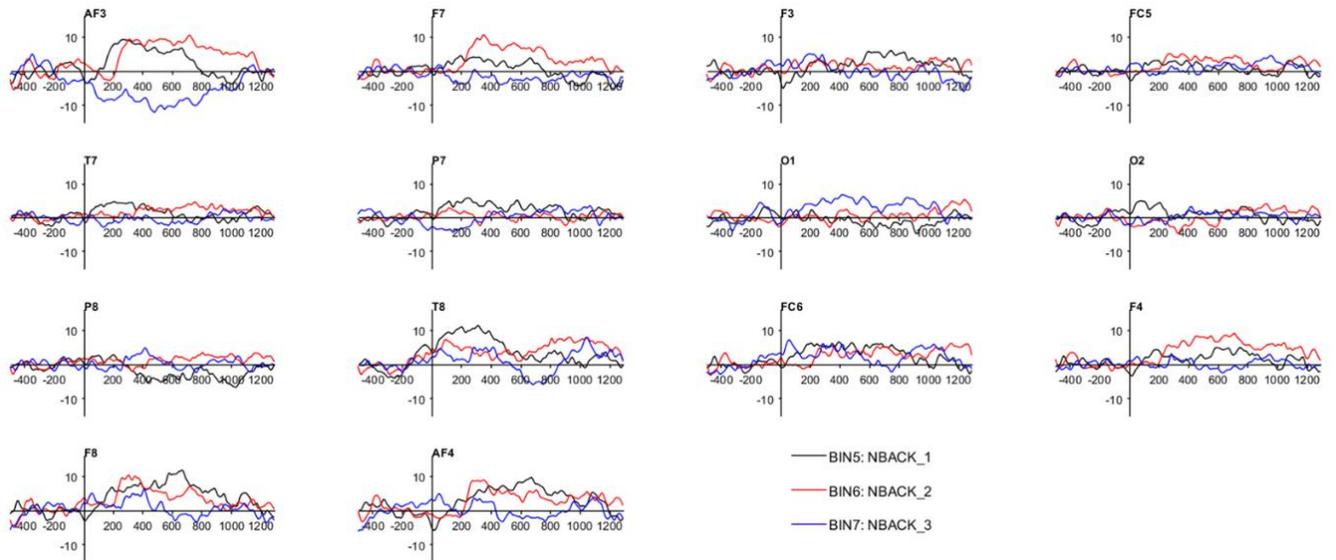
Gráfica 4 Promedio de las condiciones N-Back, participante 13



Gráfica 5 Promedio de las condiciones N-Back, participante 18

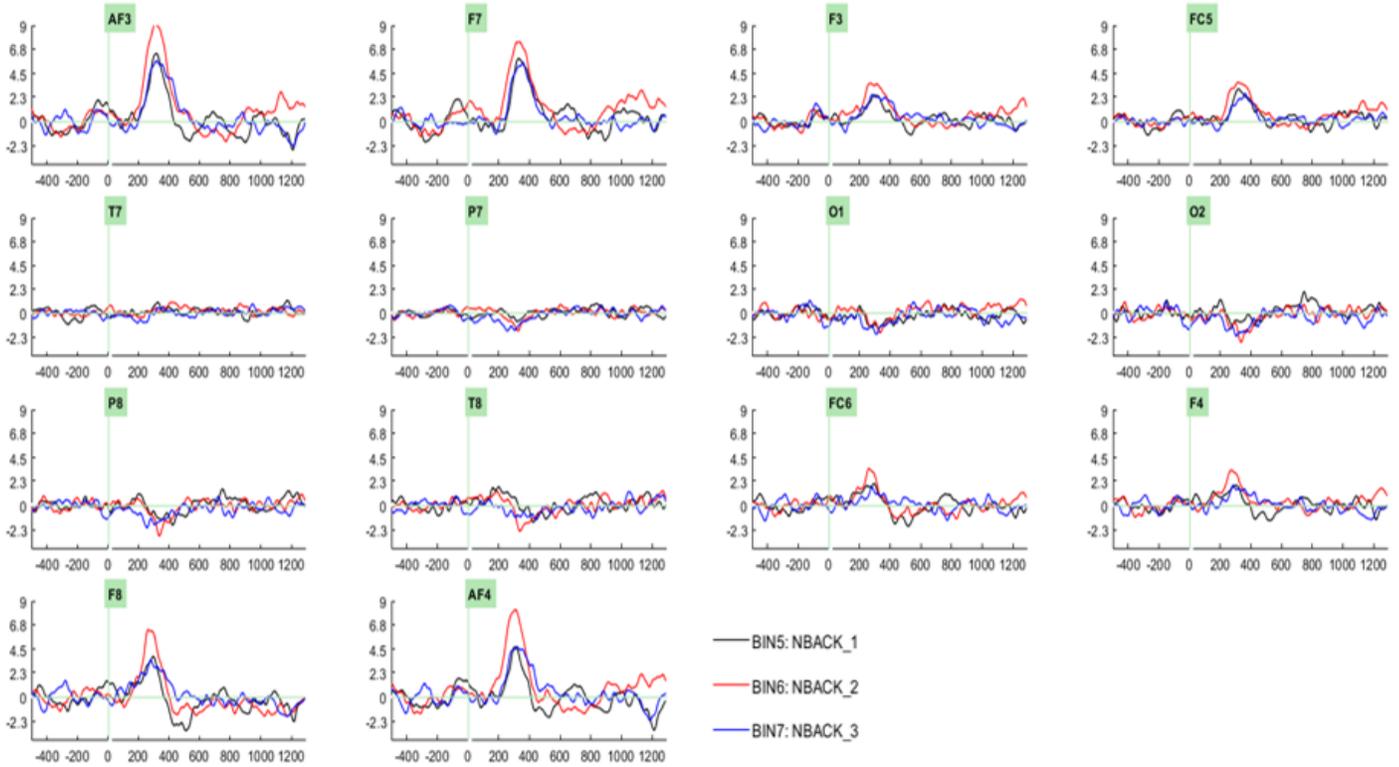


Grafica 6 Promedio de las condiciones N-Back, participante 19



Grafica 7 Promedio de las condiciones N-Back, participante 20

ANEXO 3 Graficas ampliadas de los promedios de los siete participantes.



Gran promedio de las condiciones N-Back. Cada grafica representa un canal, dentro de ellas cada línea corresponde a una condición. Se muestran todas las derivaciones de la diadema Emotiv. En el eje de las X está la latencia, en el eje de la Y se muestran las amplitudes en micro volts. Las gráficas de la imagen de abajo muestran la misma información, solo que ordenadas de acuerdo a su posición en la cabezade los participantes

