



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**  
MAESTRÍA EN CIENCIAS (NEUROBIOLOGÍA)  
INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA

GENERALIZACIÓN DE LA PERCEPCIÓN TEMPORAL EN HUMANOS:  
TRANSFERENCIA DE APRENDIZAJE ENTRE TAREAS DE  
CATEGORIZACIÓN E IDENTIFICACIÓN DE INTERVALOS

## **TESIS**

QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS (NEUROBIOLOGÍA)**

PRESENTA:

**HUGO REY ANDRADE HERNANDEZ**

TUTORES PRINCIPALES:

**DR. GERMÁN MENDOZA MARTÍNEZ**

INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA

**DR. HUGO MERCHANT NANCY**

INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA

COMITÉ TUTOR

**DRA. MARIA FLORENCIA ASSANEO**

INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA

**DR. FRANCISCO XAVIER SOTRES BAYÓN**

INSTITUTO DE FISIOLÓGÍA CELULAR

CAMPUS JURQUILLA, QUERÉTARO, MARZO 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO  
INSTITUTO DE NEUROBIOLOGÍA



Universidad Nacional  
Autónoma de México



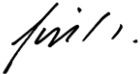




**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

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

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

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

Los miembros del Comité Tutorial certificamos que la tesis elaborada por: Hugo Rey Andrade Hernandez, cuyo título es: "Generalización de la Percepción Temporal en Humanos: Transferencia de Aprendizaje entre Tareas de Categorización e Identificación de Intervalos" se presenta como uno de los requisitos para obtener el grado de Maestro en Ciencias (Neurobiología) y cumple con los criterios de originalidad y calidad requeridos por la Coordinación General de Estudios de Posgrado de la Universidad Nacional Autónoma de México.

Presidente:	Dr. Luis Concha Loyola	 _____
Secretario:	Dr. Germán Mendoza Martínez	 _____
Vocal:	Dr. Jonathan Javier Buriticá Buriticá	 _____
Suplente:	Dr. Francisco Xavier Sotres Bayón	 _____
Suplente:	Dr. Román Rossi Pool	 _____



\_\_\_\_\_  
Coordinador del Programa

## **Agradecimientos institucionales**

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

Al Programa de Maestría en Ciencias (Neurobiología).

Al Consejo Nacional de Humanidades, Ciencias y Tecnologías (CVU: 1223112).

Al personal de la Coordinación General de Estudios de Posgrado de la UNAM: Cecilia Silva Gutiérrez (coordinadora), Lorena Archundia Navarro (secretaria auxiliar).

A la Coordinación de Posgrado: Dr. Gerardo Rojas Piloni, coordinador de la Maestría en Ciencias (Neurobiología).

A la Unidad de Enseñanza: Dra. Nuri Aranda López.

A la Unidad de Videoconferencia, en especial al M. Moises Mendoza Baltzar por su asesoramiento en el uso de los equipos.

A los miembros del Comité Tutor: Dra. María Florencia Assaneo (INB, UNAM) y Dr. Francisco Xavier Sotres Bayón (IFC, UNAM).

Al director y al codirector de este proyecto de tesis, Dr. Hugo Merchant Nancy - Investigador Tit. C T.C a cargo del Laboratorio de Neurofisiología de Sistemas en Primates y Dr. Germán Mendoza Martínez- Investigador asociado en el mismo laboratorio.

## Contenido

Introducción.....	5
a. La categorización e identificación como procesos cognitivos.....	5
b. Tareas de Categorización de intervalos de tiempo .....	6
c. Teorías de categorización.....	7
d. Tareas de Identificación de intervalos de tiempo .....	8
e. Teorías de identificación .....	8
Antecedentes .....	9
a. Categorización de intervalos de tiempo .....	9
b. Bases neuronales de la categorización de intervalos de tiempo .....	10
c. Identificación de intervalos de tiempo .....	12
d. Neurofisiología de la identificación de intervalos de tiempo .....	13
e. Comparación entre la neurofisiología de la categorización y generalización de intervalos de tiempo.....	14
f. Transferencia de aprendizaje.....	16
Planteamiento del Problema y Justificación.....	18
Hipótesis .....	19
Objetivos .....	19
a. Objetivo general.....	19
b. Objetivos específicos .....	19
Estrategia Experimental .....	20
a. Participantes.....	20
b. Materiales y métodos.....	20
c. Tarea de categorización de intervalos de tiempo .....	21
d. Tarea de identificación de intervalos de tiempo .....	22
e. Paradigma de transferencia de aprendizaje.....	23
f. Análisis de datos.....	24
Resultados .....	29
CONDICIÓN 1: ENTRENAMIENTO EN IDENTIFICACIÓN Y PRUEBA EN CATEGORIZACIÓN .....	29
a. CONDICIÓN 1: Cambios de desempeño .....	29
b. CONDICIÓN 1: Variables psicométricas asociadas a la mejora de desempeño.....	34

CONDICIÓN 1: Entrenamiento.....	34
CONDICIÓN 1: Prueba .....	36
CONDICIÓN 1: Análisis de los tiempos de reacción.....	37
RESUMEN DE LA CONDICIÓN 1:.....	39
CONDICIÓN 2: ENTRENAMIENTO EN CATEGORIZACIÓN Y PRUEBA EN IDENTIFICACIÓN .....	40
a. CONDICIÓN 2: Cambios de desempeño.....	40
b. CONDICIÓN 2: Variables psicométricas asociadas a la mejora de desempeño .....	43
CONDICIÓN 2: Entrenamiento.....	43
CONDICIÓN 2: Prueba .....	44
a. CONDICIÓN 2: Análisis de los tiempos de reacción .....	46
RESUMEN DE LA CONDICIÓN 2:.....	48
Discusión.....	50
Referencias .....	58
Anexos .....	62

## **Resumen**

La categorización es un proceso cognitivo que nos permite agrupar objetos o estímulos en categorías excluyentes. Por ejemplo, podemos categorizar distintos intervalos de tiempo como “corto” o “largo”. En cambio, la identificación nos permite distinguir un estímulo en función de sus características específicas, como la duración exacta de un intervalo de tiempo, por ejemplo, 2, 3 o 4 segundos.

Actualmente, no se conocen completamente los mecanismos neuronales que permiten identificar o categorizar intervalos de tiempo. Tampoco está claro si estos mecanismos son iguales para ambas funciones cognitivas. De hecho, algunos estudios sugieren que podrían ser diferentes. En nuestro estudio, analizamos indirectamente si estos dos procesos comparten los mismos mecanismos neuronales para cuantificar el paso del tiempo. Diseñamos un experimento de transferencia de aprendizaje para determinar si el entrenamiento en una tarea de categorización produce mejoras en una tarea de identificación de intervalos y viceversa. Hubo dos grupos de participantes: Un grupo fue entrenado en una tarea de identificación, donde debían identificar ocho intervalos temporales numerados del 1 al 8. Antes y después del entrenamiento realizaron una prueba de categorización con los mismos intervalos, categorizándolos como “corto (C)” o “largo (L)”. El otro grupo fue entrenado en la tarea de categorización y fue probado antes y después en identificación. En ambos grupos se usaron las mismas tareas y los mismos intervalos.

Los resultados mostraron que, dependiendo de la tarea en la que fueron entrenados (identificación o categorización), los participantes cambiaron su desempeño, tiempos de reacción y precisión a determinados intervalos. Dichos cambios fueron distintos entre ambos grupos, lo que sugiere que el procesamiento del tiempo varía según el tipo de tarea realizada.

## **Abstract**

Categorization is a cognitive process that allows us to group objects or stimuli into mutually exclusive categories. For instance, we can categorize different time intervals as “short” or “long.” In contrast, identification enables us to distinguish a stimulus based on

its specific characteristics, such as the exact duration of a time interval (e.g., 2, 3, or 4 seconds).

Currently, the neural mechanisms that allow us to identify or categorize time intervals are not fully understood. It is also unclear whether these mechanisms are the same for both cognitive functions. In fact, some studies suggest that they might differ. In our study, we indirectly analyzed whether these two processes share the same neural mechanisms for quantifying the passage of time. We developed a learning transfer experiment to determine whether training in a categorization task improves performance in an identification task, and vice versa.

There were two groups of participants: one group was trained in an identification task, in which they had to identify eight intervals numbered from 1 to 8. Before and after training, they performed a categorization test using the same time intervals, categorizing them as “short (S)” or “long (L).” The other group was trained in the categorization task and was tested on identification before and after the training. Both groups used the same tasks and intervals.

The results showed that participants’ performance, reaction times, and accuracy on certain intervals changed depending on the task they were trained in (identification or categorization). These changes differed between the two groups, suggesting that time processing varies according to the type of task performed.



## **Introducción**

### **a. La categorización e identificación como procesos cognitivos**

La categorización se puede definir como el agrupamiento, a partir de la experiencia, de eventos u objetos materiales, como el color o los rostros, o abstractos, como la paz o la justicia (Seger y Miller, 2010). Cada grupo o categoría puede ser asociada con una respuesta conductual particular con la cual se genera en el cerebro un mapeo estímulo-respuesta de varios-a-uno (Kéri, 2003). De esta forma, la categorización nos permite otorgarle un significado en común a distintos eventos u objetos del medio que nos rodea (Seger y Miller, 2010).

La identificación, por otro lado, consiste en distinguir un estímulo de otros similares (Humphreys et al., 1997; Riesenhuber y Poggio, 2002). En teoría, la identificación requiere de almacenar una representación de todos y cada uno de los estímulos, así como de su identidad única, generándose de esta forma un mapeo estímulo-respuesta de uno-a-uno (Kéri 2003).

Así, la categorización y la identificación nos permiten diferenciar objetos en distintos niveles de reconocimiento (Riesenhuber y Poggio, 2002). Por ejemplo, por medio de la categorización podemos diferenciar gatos y perros, pero ser más específicos y reconocer a cada uno de nuestros gatos con base en sus características particulares gracias a la identificación.

Ambos procesos se han estudiado de manera experimental, por medio de estudios conductuales y/o neurofisiológicos, a través de paradigmas de categorización o identificación de distintos estímulos. Se entiende por paradigma de identificación a los experimentos en los cuales el participante debe asignar una respuesta única a cada uno de los estímulos de un grupo de estímulos dados (Nosofsky, 1986), a saber, el participante debe otorgarle una identidad a cada estímulo que se le presente. En cambio, en un típico paradigma de categorización, el participante debe asignar cada uno de los estímulos a una de dos categorías distintas y excluyentes (Kéri, 2003; Wearden, 2016), es decir, el participante debe decidir si determinado estímulo pertenece a una categoría “a” o a una categoría “b”.

## **b. Tareas de Categorización de intervalos de tiempo**

Como se explicó en las secciones anteriores, los objetos o eventos pueden ser agrupados en categorías excluyentes. Las teorías mencionadas se limitan a los estímulos perceptuales, no obstante, la duración y los intervalos de tiempo en milisegundos o segundos también pueden ser categorizados. En esta sección se hablará específicamente de la categorización de intervalos de tiempo.

Aunque las tareas de categorización de intervalos de tiempo (llamadas también tareas de bisección) originalmente se hacían con animales, se adaptaron tareas para humanos (Wearden, 2016). Usualmente estas tareas consisten en que el participante categorice determinados intervalos o duraciones como “corto” (C) o “largo” (L).

El tiempo total de los intervalos puede variar de la escala de milisegundos a segundos. En un metaanálisis realizado por Kopec y Brody (2010), se encontró que, en los 148 experimentos de categorización temporal que fueron revisados, las duraciones de referencia utilizadas para la categoría “corto” iban desde los 10 ms hasta los 8 s, mientras que las duraciones de referencia para la categoría “largo” variaban de los 200 ms hasta los 32 s. En estos casos, es claro un amplio traslape entre las categorías corto y largo, lo que resalta su carácter arbitrario. “Corto” y “largo” no son límites absolutos que existan de forma natural, por el contrario, se definen y aprenden en el contexto de cada situación o experimento.

La estructura general de tarea común de categorización de intervalos es la siguiente: al iniciar la tarea de categorización, el participante primero debe aprender a categorizar los intervalos de referencia o estándar, por ejemplo, de 200 y 800 milisegundos para los intervalos “corto” y “largo” respectivamente. Después, al participante se le presentan las duraciones intermedias, por ejemplo, de 300, 400, 500, 600 y 700 ms (Ortega y López, 2008), además de los intervalos de referencia. El participante, entonces, debe categorizar cada uno de los intervalos como corto o largo.

Como se verá en los antecedentes, existe evidencia neurofisiológica de que el cerebro de primates no humanos codifica y utiliza un límite entre las categorías corto y largo para resolver este tipo de tareas.

### **c. Teorías de categorización**

Distintas teorías han surgido para tratar de explicar el aprendizaje de categorías, entre éstas, la teoría de los prototipos, la teoría de los ejemplares y la teoría del límite de decisión. Cada una de ellas postula una manera distinta en la que los estímulos deben ser comparados para ser asignados a una determinada categoría. A continuación, se explican brevemente cada teoría.

Teoría de los prototipos. Asume que el aprendizaje de categorías es equivalente a aprender el prototipo de la categoría (Rosch, 1973). Por lo tanto, para determinar si ciertos estímulos pertenecen a una determinada categoría, estos deben ser comparados de acuerdo con su similitud con el prototipo, que es una representación genérica de los atributos en común en dicha categoría.

Teoría de los ejemplares. En esta teoría se propone que el aprendizaje de categorías consiste en el aprendizaje de los ejemplares que pertenecen a las categorías y que han sido previamente experimentados (Nosofsky, 1987). Por lo tanto, las personas representarían a las categorías almacenando no un prototipo por categoría sino varios, o todos los ejemplares categóricos individualmente en la memoria.

Teoría del límite de decisión. En esta teoría se asume que los participantes dividen el espacio de los estímulos en las regiones de respuesta (Ashby y Maddox, 2005). Así, los participantes “dibujan”, en el espacio de estímulos, un límite de decisión entre dos categorías. Hay dos variantes de esta teoría: La primera asume que el participante determina la región del espacio de estímulos en la que se encuentra el estímulo a categorizar. En la segunda versión, el estímulo se compara directamente con el límite de decisión que correspondería a una magnitud de estímulo que marca la frontera entre una categoría u otra.

Estas teorías fueron propuestas con base en datos conductuales obtenidos en estudios de psicofísica y no se tenía idea de cómo sería su implementación a nivel neuronal. Más recientemente, estudios de neurofisiología en monos han mostrado que la categorización de intervalos de tiempo depende de un límite subjetivo entre cortos y largos (ver más adelante).

#### **d. Tareas de Identificación de intervalos de tiempo**

A diferencia de la categorización de intervalos, la identificación de intervalos de tiempo ha sido poco estudiada. En estas tareas, se le pide al participante que identifique cada uno de los intervalos dentro de un set de determinados intervalos seleccionando la respuesta adecuada (Lacouture et al., 2001). Por ejemplo, se le puede indicar al participante que identifique con un número del 1 al 10 cada uno de los diez intervalos con tiempos de 400, 464, 538, 624, 724, 840, 975, 1130, 1311 y 1521 ms (Lacouture et al., 2001).

Aunque algunos estudios empleando imagen por resonancia magnética funcional han sugerido áreas cerebrales relacionadas con la estimación temporal, como los ganglios basales, el cerebelo (Bueti et al., 2008) y el área motora suplementaria (Ferrandez, 2003), aún no está claro qué mecanismos neuronales intervienen en la identificación de intervalos temporales. En este contexto, un mecanismo neural ideal sería aquel que permita cuantificar cada una de las duraciones, de manera similar a la actividad de ciertas neuronas que se asocian con el paso del tiempo (Merchant et al., 2013).

#### **e. Teorías de identificación**

Existen pocas propuestas teóricas para explicar la identificación de estímulos. De acuerdo con Nosofsky (1987, 1989), la teoría de los ejemplares, mencionada en la sección **c**, podría explicar la identificación de estímulos. Esto es, cuando los participantes aprenden a identificar un estímulo, se almacena una representación única de dicho estímulo en la memoria.

Por otro lado, Riesenhuber y Poggio (2002) propusieron un modelo, con fundamentos neurofisiológicos, de reconocimiento de objetos en la corteza cerebral que podría explicar los procesos de identificación y categorización de la forma de estímulos visuales. Tal modelo implica dos mecanismos: un mecanismo de selectividad a formas (sintonía) independientemente de la variación en la posición o tamaño que éstas puedan tener. Esto implica neuronas que responden selectivamente a patrones o características específicas de los estímulos. La segunda parte implicaría células que utilizan la actividad selectiva de las neuronas del primer mecanismo para resolver distintas tareas como la

identificación, la discriminación o la categorización de objetos. Para la identificación, por ejemplo, las neuronas que responden selectivamente a las características de un estímulo particular formarían, tras el aprendizaje, conexiones funcionales fuertes con las neuronas que codifican la identidad de ese estímulo particular. Sin embargo, este modelo se desarrolló con datos neurofisiológicos obtenidos en tareas de reconocimiento de objetos visuales, no para el reconocimiento del paso del tiempo. En principio tal modelo no funciona para la percepción temporal, ya que requeriría la existencia de neuronas sintonizadas a los distintos intervalos de tiempo lo cual no es apoyado por los datos neurofisiológicos disponibles hasta ahora en tareas de percepción de intervalos (Jazayeri y Shadlen, 2015; Mendoza et al. 2018; ver más adelante).

Es crucial determinar si existe un mecanismo de procesamiento temporal común entre la categorización y la identificación, dado que la información neurofisiológica durante la realización de tareas de identificación temporal es escasa. La evidencia neurofisiológica en monos sugiere que dichos mecanismos podrían ser distintos. Además, debido a la dificultad de realizar estudios invasivos, no se conocen las bases neuronales de la categorización e identificación de intervalos de tiempo en humanos. Nuestro trabajo busca abordar estas incógnitas desde una perspectiva conductual, utilizando un paradigma de transferencia de aprendizaje entre ambas tareas en participantes humanos.

## **Antecedentes**

### **a. Categorización de intervalos de tiempo**

Existen varios estudios de categorización de intervalos en participantes humanos (Kopec y Brody 2010; Méndez et al., 2011; Merrit et al., 2010; Ortega y López 2008). En general se ha observado que la función psicométrica tiene forma sigmoidea, con más respuestas correctas para los intervalos más cortos y largos y más errores de decisión para los intervalos intermedios (Kopec y Brody 2010; Méndez et al., 2011; Merrit et al., 2010; Ortega y López 2008). Otra característica es que el punto igualdad subjetiva que es el intervalo de tiempo al cual la probabilidad de respuesta 'largo' es de 0.5 y que representa el límite subjetivo entre la categoría corto y la categoría largo es cercano a la

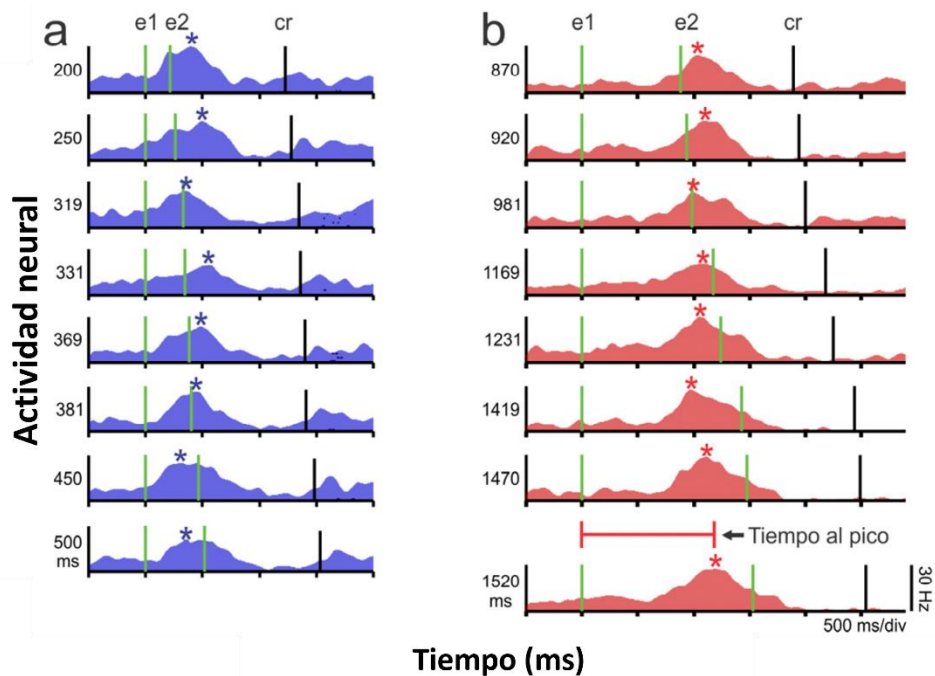
media de las duraciones de prueba (Kopec y Brody 2010; Méndez et al., 2011; Merrit et al., 2010; Ortega y López 2008).

### **b. Bases neuronales de la categorización de intervalos de tiempo**

Las bases neuronales de la categorización de intervalos se han estudiado en humanos con registros de electroencefalografía (EEG), como en el realizado por Ng et al. (2011). En la tarea, los estímulos a categorizar consistieron en siete tonos cuya duración más corta, 800 ms, y más larga, 3200 ms, fungieron como intervalos estándar para las categorías “corto” y “largo” respectivamente. Los participantes presionaban una de dos teclas para indicar si la duración del tono era más parecida al intervalo estándar “corto” o “largo”. Se observó que, durante la presentación de los intervalos, la variación contingente negativa (VCN), una onda negativa relacionada con el proceso de acumulación temporal en algunas tareas de *timing*, incrementó gradualmente en las zonas centro-parietal y centro-frontal hasta llegar a una meseta alrededor de los 800 ms. Esta onda se mantuvo hasta aproximadamente los 1600 ms y declinó cerca de los 2000 ms, independientemente de que la duración de los intervalos más largos fuera superior. Dado que la media geométrica de los intervalos de prueba era 1600 ms, los autores sugirieron que la media de los prototipos corto y largo es una de las duraciones críticas usadas por los participantes para resolver la tarea (Ng et al., 2011).

De forma interesante, estudios invasivos recientes de neurofisiología en monos Rhesus coinciden con esta última idea. Mendoza et al. (2018) registraron la actividad de neuronas del área motora presuplementaria (pre-AMS) para determinar las bases neuronales de la categorización de intervalos de tiempo. La tarea consistió en categorizar como “corto” o “largo” cada uno de ocho intervalos presentados en tres sets de estímulos con distintos límites entre categorías. No se encontró codificación a nivel de neurona única de la duración de cada uno de los intervalos. En cambio, se observó una representación neuronal del límite subjetivo entre categorías: la actividad de algunas neuronas llegaba a un máximo después de la presentación del primer estímulo, independientemente de la duración total de los intervalos, momento que era cercano al límite (media) entre intervalos corto/largo del set de intervalos de prueba. Así, durante los intervalos cortos el pico máximo de actividad tendía a ocurrir después del final del

intervalo, mientras que en los intervalos largos dicho pico de actividad ocurría antes del fin del intervalo (ver figura 1). En este contexto, los monos habrían resuelto la tarea determinando si el estímulo que marcaba el final del intervalo ocurría antes (intervalo corto) o después (intervalo largo) del pico de actividad neuronal que representa el límite subjetivo (Mendoza et al., 2018). Esta hipótesis se comprobó con análisis de curvas neurométricas y de decodificación a partir de actividad neuronal (Mendoza et al., 2018). Los autores especulan que la codificación de un límite entre categorías y la ausencia de codificación de intervalos individuales podría estar relacionado con el sobreentrenamiento de los monos, los cuales podrían ser considerados como ‘expertos’ en la categorización de estos estímulos (comunicación personal). De hecho, existe evidencia de que los mecanismos neurales y las vías que median el aprendizaje de nuevas categorías son diferentes de las estructuras neuronales que median la representación de categorías altamente aprendidas (Ashby y Maddox, 2005).



**Figura 1.** Actividad de neuronas de pre-AMS en monos asociada al límite entre las categorías corto y largo. **a)** Actividad neural promedio de una neurona límite en función del tiempo transcurrido durante el ensayo. Se muestra la actividad por intervalo de prueba, de los 200 a los 500 ms. **b)** Lo mismo que en a), pero para intervalos de los 870 a los 1520 ms. Las líneas verdes indican la presentación de los estímulos que delimitan el intervalo (e1 y e2). La línea negra indica

el momento de presentación de los círculos de respuesta (cr). El asterisco indica el pico de actividad neural. Figura de Mendoza et al., 2018.

### **c. Identificación de intervalos de tiempo**

A diferencia de los estudios de categorización, los estudios de identificación de intervalos de tiempo son escasos. Lacouture et al. (2001) realizaron un estudio de psicofísica en participantes humanos con resultados preliminares, mediante una tarea de identificación absoluta de diez intervalos temporales (400, 464, 538, 624, 724, 840, 975, 1130, 1311, y 1521 ms). El objetivo de su estudio fue determinar si en la identificación de intervalos se presentan los mismos fenómenos observados al identificar estímulos sensoriales, ya sean visuales, auditivos, gustativos o táctiles. Los resultados mostraron que, a medida que incrementa el número de estímulos a identificar (*set-size effect*), el desempeño de los participantes disminuye, especialmente en los intervalos intermedios, y los tiempos de reacción aumentan.

En cambio, la proporción de respuestas correctas es mayor y los tiempos de reacción menores en los extremos del continuo de estímulos. La probabilidad de respuestas correctas fue de 0.8 en los intervalos 1 y 10. Lo contrario ocurre para el resto de los estímulos (*bow effect*), cuya probabilidad de respuestas correctas osciló entre 0.4 y 0.5. El *bow effect* y el *set-size effect* son comunes a otras tareas de identificación.

Otro estudio de identificación de intervalos es el realizado por McCormack et al. (2002), cuyo objetivo fue identificar los efectos de la edad en la habilidad para identificar intervalos temporales en una tarea de identificación absoluta de intervalos de tiempo. Los estímulos consistieron en seis tonos con distintas duraciones en milisegundos en dos condiciones: Condición "corto" (250, 300, 360, 432, 518.4 y 622.1 ms) y condición "largo" (622.1, 746.5, 895.8, 1075, 1290 y 1548 ms). Para esto, participaron adultos jóvenes con una edad promedio de 20 años y adultos mayores con una edad aproximada de 70 años.

Los gráficos del desempeño correcto de los participantes jóvenes y adultos en función del estímulo tuvieron la típica forma en U o en arco demostrada en otros experimentos de identificación, debido a una proporción de respuestas correctas mayor en los estímulos extremos. Para los valores extremos, la proporción de respuestas correctas fue de 0.6 a 0.8 y para los valores intermedios fue de 0.4 a 0.6.



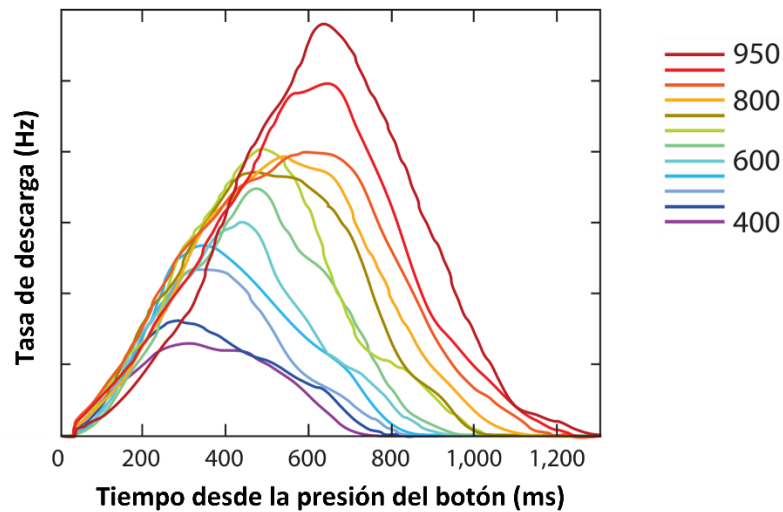
Otro estudio en el que se realizó un experimento de identificación de intervalos de tiempo es el de Elvevåg et al. (2004), en el que sometieron a un grupo de pacientes con esquizofrenia y a un grupo control a realizar una tarea de identificación de siete tonos con duraciones de 333, 667, 1000, 1333, 1667, 2000, y 2333 ms. Al igual que en el resto de los estudios de identificación de duraciones temporales, encontraron el efecto de posición serial o *bow effect*, además de que los pacientes con esquizofrenia presentaron un menor desempeño en esta tarea en comparación con el grupo control. Mientras el grupo control mantuvo un desempeño general de 66 % de respuestas correctas, el grupo de pacientes osciló entre 51 % y 53 %.

#### **d. Neurofisiología de la identificación de intervalos de tiempo**

En cuanto a la neurofisiología de la identificación de intervalos, Moon et al. (2015) realizaron un estudio con imagen por resonancia magnética funcional (fMRI por sus siglas en inglés) para identificar las áreas cerebrales que participan en la identificación de intervalos de tiempo y longitudes. En la tarea de tiempo, los participantes tenían que identificar cuatro duraciones distintas (T1: 300 a T4: 900 ms en pasos de 200 ms). Las duraciones fueron presentadas mediante líneas de cuatro longitudes distintas, pudiendo coincidir o no la duración del estímulo con la longitud de la línea. Por ejemplo, la duración más corta con la línea más corta, la duración más larga con la línea más larga, entre otras 14 combinaciones. Los participantes tenían que indicar la duración correspondiente mediante un guante de respuestas con cuatro colores distintos en cada dedo (T1 = dedo índice-rojo, T2 = dedo medio-verde, T3 = anular-azul y T4 = meñique-amarillo). Se encontró que, áreas como el giro frontal medio-inferior y el giro frontal medial, así como la ínsula y el caudado, mostraron mayor respuesta a la tarea de tiempo. Es importante mencionar que, si bien este tipo de estudios permiten identificar las áreas cerebrales relacionadas con un proceso cognitivo, no dan pistas sobre los mecanismos a nivel de circuitos neuronales involucrados.

No obstante, hay evidencia de neuronas que tienen una actividad en rampa en tareas de producción de intervalos (Merchant et al., 2011). Dicha actividad correspondería a la duración de los intervalos producidos (ver figura 2). Por lo tanto,

podemos asumir que para la tarea de identificación se requerirían neuronas con una actividad similar a las neuronas de acumulación temporal.



**Figura 2.** Células de acumulación temporal cuya actividad se acumula en función del paso del tiempo. El máximo pico de actividad incrementa linealmente con el intervalo producido. Adaptado de Merchant y colaboradores (2011).

#### e. Comparación entre la neurofisiología de la categorización y generalización de intervalos de tiempo

Los estudios comparativos entre distintas tareas de percepción de intervalos de tiempo son escasos. En uno de ellos, Bannier et al. (2019) determinaron las diferencias entre una tarea de categorización y otra de generalización de duraciones desde una aproximación conductual y potenciales relacionados a eventos por medio de electroencefalografía (EEG).

En la tarea de generalización, los participantes tenían que determinar si una de las siete duraciones presentadas (200, 400, 600, 800, 1000, 1200 y 1400 ms) era de la misma duración que la duración estándar (800 ms) previamente aprendido. En la tarea de categorización, los participantes tenían que indicar si el intervalo presentado era más cercano a los intervalos estándar “corto” (200 ms) o “largo” (1400 ms) previamente aprendidos. En ambas tareas se utilizaron las mismas duraciones de intervalos.

Para analizar los resultados conductuales de la tarea de generalización, construyeron un gradiente temporal de generalización en la forma de la probabilidad de responder “Sí, es el estándar” en función de las duraciones presentadas. El pico máximo

de la curva estuvo en los 800 ms y en los 1000 ms, con una probabilidad de responder que es el estándar de 0.8 aproximadamente. Para la tarea de categorización realizaron una curva psicométrica, cuyo punto de igualdad subjetivo se localizó en los 722 ms.

Se observó que los tiempos de reacción para las duraciones largas fueron menores en la tarea de bisección que en la de generalización, lo que indica que los participantes podían haber tomado una decisión antes de finalizar el estímulo (Bannier et al., 2019). Sin embargo, los autores refieren que la ventaja en la tarea de categorización se debió al tipo de respuestas dadas por los participantes. En la tarea de categorización deben responder si el estímulo es más parecido al estándar corto o largo. Esto hace que el participante se sienta más seguro de responder “largo” conforme aumenta la duración del estímulo. En cambio, en la tarea de generalización se tiene que decidir si la duración es el estándar o no, por lo que el paso del tiempo no facilita la decisión entre las dos posibles respuestas.

Lo anterior concuerda con un mecanismo de decisión basado en la representación neural de un límite subjetivo entre categorías. Esto es, una vez rebasado el límite temporal entre los intervalos cortos y largos, no habría necesidad de seguir cuantificando la duración del intervalo de prueba, lo cual se asociaría a menores tiempos de reacción (Lindbergh y Kieffaber, 2013).

En cuanto al análisis de los potenciales evocados, estuvieron enfocados en la región de interés centro parietal, ya que fue la región en la que se observaron mayores amplitudes. Dicho análisis se centró en la amplitud de las ondas entre los 200 y 800 ms después de la finalización del estímulo, con ventanas temporales de 100 ms. La amplitud promedio fue mayor en la tarea de generalización que en la de categorización. Además, la amplitud se redujo para las duraciones más largas, alcanzando una meseta en la duración de 800 ms, en especial en la tarea de categorización. Este decaimiento de la amplitud puede indicar que se requieren de menores recursos atencionales y de memoria de trabajo en la tarea de categorización. Por todo lo anterior, los autores sugieren que la tarea de generalización es más demandante que la de bisección.

Se han sugerido áreas centro-parietales de la corteza asociadas con el procesamiento de la información temporal a partir de actividad en EEG (Bannier et al., 2019), y esta actividad se puede relacionar con la actividad de neuronas rampa a partir

de la integración de señales (König et al., 1996; Simen et al., 2011). Sin embargo, no se conoce con exactitud cuáles son los mecanismos neuronales que subyacen al procesamiento temporal durante tareas de categorización e identificación de intervalos en seres humanos.

Además, son pocos los estudios de identificación de intervalos temporales y aún menor el número de estudios que comparan la categorización y la identificación de intervalos de tiempo. Una posibilidad es que la categorización de intervalos temporales por participantes humanos dependa de la representación de un límite subjetivo discreto que sirva como criterio para decidir si la duración observada es corta o larga, como se ha observado en monos Rhesus (Mendoza et al., 2018). En cambio, una tarea de identificación requeriría, en teoría, cuantificar el tiempo total de cada duración presentada, como la actividad en rampa ya mencionada que se ha observado en estudios de neurofisiología en monos, en donde, neuronas del área motora presuplementaria presentaban actividad que se incrementaba en función del tiempo transcurrido (Merchant et al., 2011).

Por tanto, categorización e identificación de intervalos de tiempo podrían utilizar distintos mecanismos de procesamiento de información temporal. Para obtener evidencia indirecta con la cual contrastar esta hipótesis, en nuestro trabajo diseñamos un paradigma de transferencia de aprendizaje entre tareas de categorización e identificación de intervalos. Además de permitirnos contrastar nuestra hipótesis principal, nuestro estudio aportó datos conductuales sobre la identificación de intervalos de tiempo por participantes humanos y su aprendizaje a largo plazo, los cuales son escasos o inexistentes en la literatura. También abordamos el efecto del entrenamiento en tareas de categorización en humanos y determinamos si esto está asociado a cambios en la estrategia de cuantificación temporal.

#### **f. Transferencia de aprendizaje**

La transferencia de aprendizaje ocurre cuando el aprendizaje en un contexto o con materiales específicos resulta en un cambio en el desempeño del participante en otro contexto o materiales relacionados (Perkins y Salomon, 1992). Dicho cambio puede ser

positivo, cuando el aprendizaje en un contexto mejora el desempeño en otro contexto, o negativo, cuando dificulta el aprendizaje en otro contexto (Perkins y Salomon, 1992).

Así, la transferencia de aprendizaje puede ser un método indirecto para comprobar relaciones entre funciones mentales. De acuerdo con Thorndike y Woodworth (1901), si dos funciones mentales están relacionadas, entonces la mejora en una podría resultar en un incremento en la eficiencia de otra.

En nuestro proyecto, la transferencia de aprendizaje fue utilizada para tratar de determinar de forma indirecta si el mecanismo de cuantificación temporal reclutado en tareas de categorización de intervalos es el mismo que opera en tareas de identificación de intervalos. Si ambos procesos utilizan la representación neuronal de la duración de los intervalos, entonces observaríamos una transferencia de aprendizaje robusta. En cambio, si los procesos durante la categorización y la identificación de intervalos son distintos, posiblemente no se observe una transferencia de aprendizaje o incluso podría tener una transferencia con un efecto negativo.

## **Planteamiento del Problema y Justificación**

La categorización y la identificación de intervalos de tiempo son procesos perceptuales que requieren, en teoría, de algún tipo de cuantificación de tiempo entre distintos eventos sensoriales. En el primero se deben asignar los intervalos a grupos delimitados y excluyentes, mientras que en la identificación es necesario otorgar una identidad a cada evento de manera individual de acuerdo con sus características únicas. Aunque ambos procesos han sido estudiados con anterioridad, sus similitudes o discrepancias son poco conocidas, así como sus bases neurobiológicas, especialmente en humanos.

Los antecedentes sugieren que, en la categorización de intervalos los participantes requieren hacer uso de un límite subjetivo en el que si se supera se categorizará al intervalo como largo y si no se cruza se categorizará como corto. En cambio, la identificación de intervalos requeriría cuantificar el tiempo total de cada duración presentada (Merchant et al., 2011). También se desconoce cuál es la capacidad de los humanos para identificar distintos intervalos de tiempo y cómo ésta se compara con su capacidad para categorizar los mismos intervalos. Adicionalmente, no hay estudios en los que se comparen ambos paradigmas y son pocos en los que se han sometido a los participantes en un entrenamiento en dichas tareas. Debido a esto, no se sabe con exactitud si para la realización de ambas tareas se requieren de los mismos mecanismos de cuantificación temporal.

En nuestro estudio realizamos un paradigma de transferencia de aprendizaje para tratar de inferir por medio de la conducta si ambos procesos requieren de los mismos mecanismos de cuantificación temporal. De esta forma, podríamos asumir que, si ambos procesos comparten los mismos mecanismos de cuantificación, podremos observar una mejora de una prueba a otra. De manera indirecta, podemos asumir que independientemente de la tarea, los intervalos de tiempo se cuantificaron de manera similar. Lo contrario ocurriría de no ser así, pudiendo no observarse ningún efecto después de un entrenamiento o un efecto negativo.

## **Hipótesis**

Si la categorización y la identificación de intervalos de tiempo comparten los mismos mecanismos de procesamiento temporal, participantes sometidos a un entrenamiento en una tarea de categorización presentarán mejoras en una tarea de identificación de los mismos intervalos y viceversa. Si ambos procesos utilizan mecanismos distintos, el entrenamiento en una tarea no tendrá efecto sobre la otra o tendrá efectos diferenciales, dependiendo si se entrena en una u otra tarea.

## **Objetivos**

### **a. Objetivo general**

Determinar si existe una transferencia de aprendizaje de una tarea de categorización a una tarea de identificación de intervalos y viceversa.

### **b. Objetivos específicos**

- i. Probar a los participantes en dos paradigmas de transferencia de aprendizaje: transferencia de una tarea de categorización a una tarea de identificación de intervalos y viceversa.
- ii. Analizar el desempeño psicométrico de los participantes mediante el uso de curvas psicométricas, curvas de identificación, análisis estadístico del desempeño y de los tiempos de reacción.
- iii. Analizar los patrones de transferencia de aprendizaje para cada uno de los intervalos de tiempo utilizados y para cada variable psicométrica de interés.

## **Estrategia Experimental**

### **a. Participantes**

Participaron 42 personas (24 mujeres y 18 hombres) con una edad promedio de 27 años ( $\pm 3.8$ ), con visión normal o corregida, sin dificultades o discapacidades motoras. A todos los participantes se les otorgó un consentimiento informado (ver Anexo) en el que se les explicó el protocolo del estudio, el cual leyeron y firmaron antes de iniciar los experimentos.

Los datos de dos participantes fueron excluidos de los análisis del estudio debido a que uno de ellos no terminó las sesiones del entrenamiento, y el otro tuvo respuestas completamente sesgadas a los intervalos cortos (un desempeño por debajo del azar).

### **b. Materiales y métodos**

Los participantes realizaron las tareas de manera individual en un cuarto cerrado y aislado del ruido externo. Los participantes estuvieron sentados frente a un monitor de computadora de 27 pulgadas (marca LG, modelo 27GN750-B, con un panel IPS de frecuencia de actualización de 240Hz) en el cual se les presentó las tareas correspondientes. La distancia del rostro de los participantes al monitor fue de 150 cm aproximadamente. Para responder las tareas, tenían que controlar un joystick (*CH Products*, modelo HF, multieje sin contactos) con su mano de preferencia.

Durante el entrenamiento en ambas condiciones, todos los participantes realizaron en total 640 ensayos durante aproximadamente una hora y media en cada una de las tres sesiones (días 2, 3 y 4). En las pruebas previa y posterior al entrenamiento (días 1 y 5), la tarea correspondiente consistió en 240 ensayos y tuvo una duración aproximada de 30 minutos por sesión.

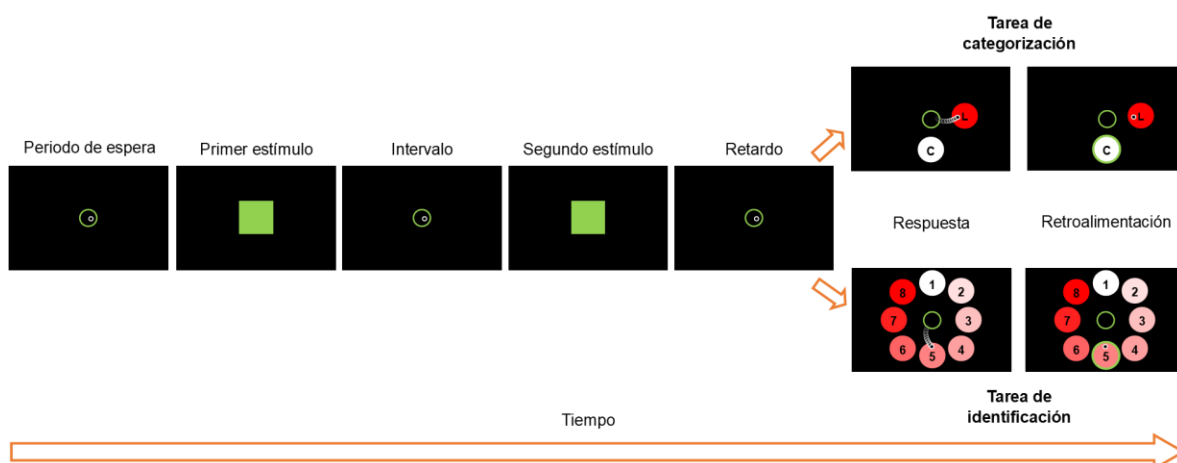
Antes de comenzar con la primera sesión, se les mencionó a los participantes que se les otorgaría un incentivo económico de \$100.00 (MXN) pesos mexicanos al completar las cinco sesiones. Todos los participantes recibieron el incentivo económico al finalizar la quinta sesión.



### c. Tarea de categorización de intervalos de tiempo

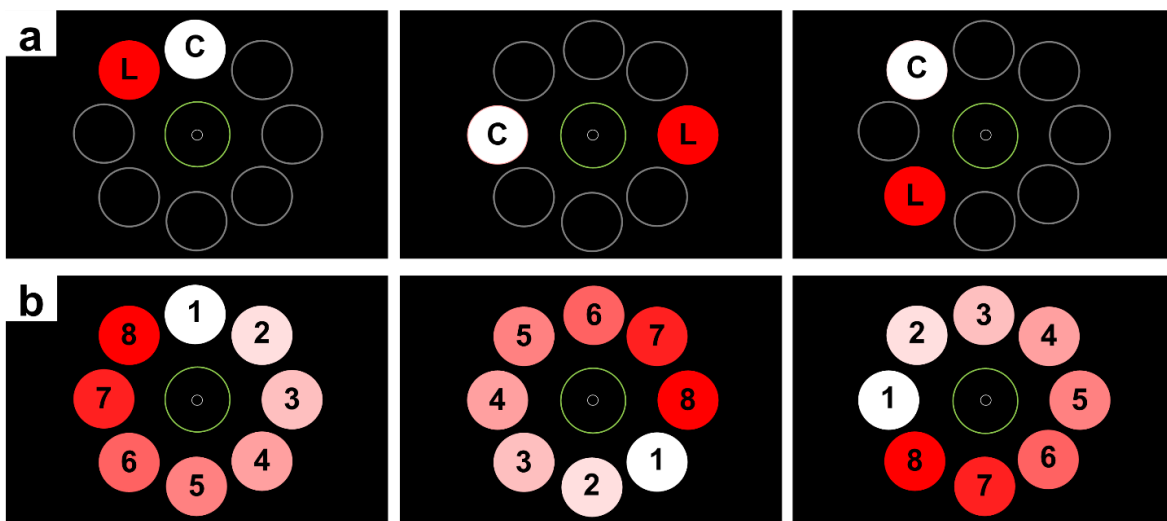
En la tarea de categorización de intervalos, los participantes clasificaron ocho intervalos temporales como “corto” o “largo”. Cada intervalo estuvo delimitado por la aparición breve, en un monitor de computadora, de un cuadrado verde al inicio y al final del intervalo (figura 3). Los intervalos eran de 841, 932, 1024, 1115, 1207, 1299, 1390 y 1490 ms.

El procedimiento, que se ilustra en la figura 3, fue de la siguiente manera: para iniciar un ensayo de la tarea, los participantes movieron un cursor mediante un joystick hacia el interior de un círculo verde (6.3 cm de diámetro) que aparecía en el centro de la pantalla. Después de un tiempo variable (mínimo de 500 ms más un tiempo aleatorio de 0 a 300 ms), se mostraba un cuadrado verde (66 ms, 9.4 x 9.4 cm) en el centro de la pantalla que marcaba el inicio del intervalo, seguido de un segundo cuadrado verde idéntico en tamaño, posición y duración indicando el final del intervalo. Tras un retardo fijo (1000 ms), aparecieron dos círculos de respuesta (4.7 cm diámetro), uno blanco con la letra “C” y otro rojo con la letra “L”, cuyas posiciones variaron de manera aleatoria alrededor del círculo central para que el participante no asociara una posición con una determinada categoría (Figura 4a). El participante debía mover el cursor hacia el círculo blanco cuando consideraba que el intervalo era corto y hacia el círculo rojo cuando lo consideraba largo. Un margen de color verde (50 ms) se mostraba alrededor del círculo que correspondía a la respuesta correcta, a modo de retroalimentación.



**Figura 3.** Procedimiento de un ensayo de las tareas de categorización o identificación de intervalos de tiempo. En cada ensayo se presentaron a los participantes uno de los ocho intervalos distintos. Dichos intervalos estuvieron delimitados por la primera y segunda aparición

de un cuadrado verde en un monitor de computadora. En la tarea de categorización, después de un periodo de retardo aparecieron dos círculos de respuesta. Los participantes tenían que manipular un joystick para mover un cursor hacia el círculo rojo si consideraban que el intervalo era largo, o al blanco si consideraban que era corto. En la tarea de identificación se presentaron ocho círculos de respuesta correspondientes a cada intervalo de prueba. Los participantes tenían que identificar el intervalo moviendo el cursor hacia el círculo con el número correspondiente. En ambas tareas los participantes recibieron retroalimentación en los ensayos correctos e incorrectos mediante un contorno de color verde que aparecía alrededor del círculo correspondiente a la respuesta correcta.



**Figura 4.** Ejemplos de la disposición de los círculos de respuesta en la tarea de categorización (a) y en la tarea de identificación (b). **a)** En cada ensayo, los círculos podían ocupar una de varias posibles posiciones alrededor del círculo central. Los círculos grises marcan tales posiciones y no fueron visibles para los participantes durante la tarea. **b)** En la tarea de identificación, la posición relativa entre cada círculo de respuesta se mantuvo constante, pero el arreglo de todos los círculos se giró a distintos ángulos en cada ensayo de la tarea.

#### d. Tarea de identificación de intervalos de tiempo

En esta tarea se utilizaron las mismas duraciones que en la tarea de categorización. Los participantes identificaron cada intervalo seleccionando el círculo correspondiente entre ocho círculos de respuesta distintos. Al igual que en la tarea de categorización, los participantes tenían que mover el cursor al centro del círculo para iniciar un ensayo. Los intervalos se presentaron de la misma manera que en la tarea de

categorización. Después del segundo estímulo y tras el retardo fijo, aparecieron ocho círculos de respuesta numerados del 1 al 8, cada uno con un tono de blanco a rojo en una escala de color de manera lineal, siendo el más blanco con el número 1 el correspondiente a la duración más corta y el más rojo con el número 8 al intervalo más largo. Para facilitar el aprendizaje del mapeo sensorial-motor por parte de los participantes, los círculos de respuesta fueron ordenados en la pantalla de acuerdo con su tono de forma ascendente en el sentido horario. Para evitar que las direcciones de movimiento se confundieran con la duración de los intervalos, todo el set de los 8 círculos de respuesta se giró a distintos ángulos en cada ensayo de la tarea (Figura 4b).

#### **e. Paradigma de transferencia de aprendizaje**

El estudio de transferencia de aprendizaje consistió en cinco sesiones: una sesión de prueba previa al entrenamiento (día 1) seguida de tres sesiones de entrenamiento (días 2, 3 y 4) y una sesión de prueba posterior al entrenamiento (día 5). En la prueba previa (sesión 1), los participantes realizaron la tarea de categorización o de identificación de intervalos de tiempo de acuerdo con la condición a la que previamente fueron asignados. La asignación de los participantes a una u otra condición, prueba en categorización o prueba en identificación, se realizó de manera aleatoria. Posteriormente, los participantes fueron entrenados durante 3 días consecutivos en la tarea opuesta a la que fueron probados inicialmente (sesiones 2, 3 y 4). En una última sesión (sesión 5), los participantes realizaron nuevamente la misma tarea de la primera sesión, con el fin de comprobar si hubo una transferencia de aprendizaje de una tarea a otra. Todos los participantes completaron las cinco sesiones en cinco días consecutivos. Todo esto se resume en la figura 5.



**Figura 5.** El paradigma de transferencia de aprendizaje consistió en cinco sesiones durante cinco días consecutivos. Sesión 1 y 5: prueba previa y posterior, respectivamente, en la tarea de categorización o identificación. Los participantes de la Condición 1 realizaron la prueba previa y posterior en categorización; los participantes de la Condición 2, en identificación. Cada sesión de prueba estuvo conformada por 240 ensayos. Sesiones 2, 3 y 5: Período de entrenamiento en la tarea no evaluada. En la Condición 1, los participantes entrenaron en la tarea de identificación; en la Condición 2, en categorización. Cada sesión durante este período tuvo un total de 640 ensayos.

#### **f. Análisis de datos**

Para la visualización y análisis de los datos se escribieron subrutinas en MATLAB (versión 9.12.0.2039608) y se usó el programa de análisis estadístico SPSS (versión 29.0). Para cada participante e intervalo se calculó el desempeño como la proporción de respuestas correctas. Se realizaron, además, curvas psicométricas para la tarea de categorización y curvas de identificación para la otra tarea. Adicionalmente, se calculó el tiempo de reacción para cada uno de los intervalos como el tiempo entre la aparición de los círculos de respuesta y el momento en que el cursor sale del círculo central.

i. Variables psicofísicas analizadas en la tarea de categorización

Para la tarea de categorización se describió y cuantificó el desempeño de los participantes para procesar información temporal por medio de curvas psicométricas. Las curvas psicométricas se construyen graficando la proporción de respuestas “largo” en función de la duración del intervalo (Kopec y Brody, 2010; Wearden, 2016). A estas curvas se les realizó un ajuste logístico mediante la función *glmfit* de MATLAB (MathWorks v. 9.12.0.2039608). Esta función ajusta un modelo lineal generalizado resolviendo:

$$f(\mu) = Xb$$

En donde  $\mu$  corresponde a la media de la distribución,  $X$  es la matriz de variables predictoras y  $b$  es el vector de coeficientes del modelo.

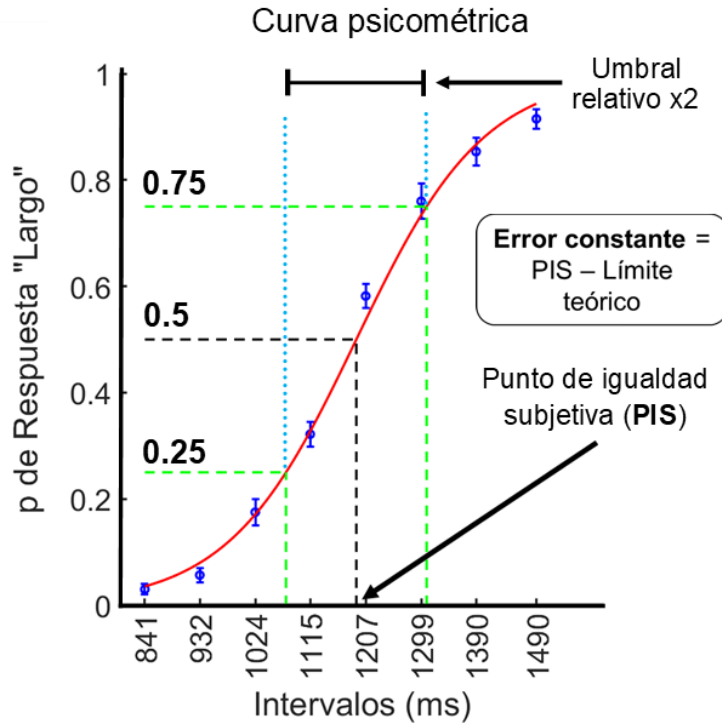
La función de enlace utilizada fue:

$$f(\mu) = \log(\mu/(1 - \mu))$$

A partir de las curvas psicométricas se calculó el punto de igualdad subjetiva (PIS) o punto de bisección, el error constante (EC) y el umbral relativo (UR).

El PIS es el intervalo en el que la probabilidad de responder “largo” es de 0.5. Dicho parámetro indica el límite subjetivo entre la categoría “corto” y “largo”. El EC se calculó como la diferencia entre el punto de igualdad subjetiva y el límite teórico entre categorías (Méndez et al., 2011). Este parámetro representa la diferencia entre el límite entre categorías real y el límite subjetivo de los participantes (Mendoza, 2018).

El umbral relativo se calcula como la mitad de la diferencia entre los valores de los estímulos en los cuales  $p$  es de 0.75 y 0.25. Ésta es una medida de la capacidad de los participantes de detectar cambios en los estímulos presentados (Ortega y López, 2008). Revisar figura 6 para ver un ejemplo de una curva psicométrica y los parámetros medibles.



**Figura 6.** Ejemplo de una curva psicométrica. Los círculos azules indican la proporción de responder "largo" (media  $\pm$  error estándar) para cada uno de los ocho intervalos. La línea roja es el ajuste psicométrico. Se indican los parámetros que pueden calcularse a partir de ésta, a saber: Umbral relativo, punto de igualdad subjetiva y error constante. Las líneas punteadas verdes indican la proporción de respuestas en 0.25 y 0.75 y su proyección en el eje de las abscisas. La línea punteada negra indica el punto de igualdad subjetiva, el intervalo de tiempo en el que  $p = 0.5$ .

ii. Variables psicofísicas analizadas en la tarea de identificación

Para el análisis de la tarea de identificación se graficaron curvas de identificación (curvas de proporción de respuestas). Las curvas de identificación se construyen graficando la proporción de respuestas en cada opción para un estímulo dado (Stewart et al., 2005.). A estas curvas se les realizó un ajuste normal mediante la ecuación:

$$f(x) = a \cdot \exp\left(-\frac{(x - b)^2}{c^2}\right) + d$$

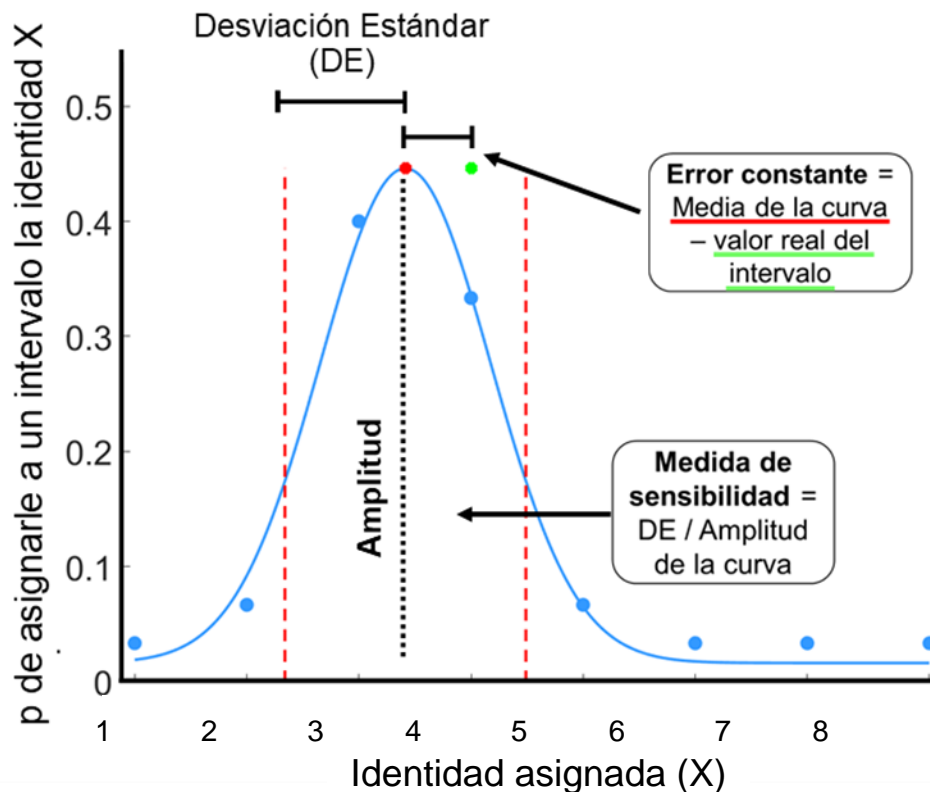
En donde  $x$  corresponde al intervalo,  $a$  es la amplitud de la curva,  $b$  es la posición del centro de la curva en el eje  $x$ ,  $c$  es la desviación estándar y  $d$  es la línea de base o el desplazamiento vertical. Los ajustes se realizaron mediante la función *fit* de MATLAB (MathWorks v. 9.12.0.2039608). Con estos datos se calculó el error constante (EC) como

la diferencia entre la media de la curva ajustada y el valor real del intervalo en milisegundos. Esta variable toma valores negativos cuando los participantes subestiman la duración del intervalo y valores positivos cuando lo sobreestiman. Consideramos el EC como una medida de la precisión de los participantes. Además, se calculó una medida de sensibilidad (MS) como:

$$MS = \text{amplitud de la curva} / \text{desviación estándar de la curva}$$

Por tanto, esta medida es directamente proporcional a la amplitud de la curva e inversamente proporcional a su desviación estándar y la consideramos como una medida de sensibilidad de los participantes para identificar diferencias entre las distintas duraciones. Participantes más sensibles presentarán curvas más altas y estrechas. En la figura 7 se muestra un ejemplo de una curva de identificación para un intervalo.

Curva de identificación para el intervalo 4 (1115 ms)



**Figura 7.** Ejemplo de una curva de identificación para un intervalo de uno de los participantes del presente estudio. Los puntos azules indican la probabilidad de asignarle al intervalo la identidad X de cada uno de los ocho intervalos. La línea azul es la curva ajustada. Se indican los parámetros

que pueden calcularse a partir de ésta, a saber: desviación estándar, amplitud (línea punteada negra), media de la curva (punto rojo), el error constante y la medida de sensibilidad. El punto color verde indica el valor real del intervalo. Las líneas punteadas rojas indican  $\pm 1$  desviación estándar a partir de la media.

### iii. Análisis del efecto de entrenamiento y transferencia de aprendizaje

Para evaluar el efecto del entrenamiento de ambas tareas, se hicieron comparaciones estadísticas del desempeño, el tiempo de reacción y las otras variables psicométricas entre la primera y última sesión de entrenamiento (día 2 y 4) y la primera y última sesión de prueba (días 1 y 5) (ver figura 5). La primera comparación permitió determinar los cambios en la propia tarea entrenada debidos a un posible aprendizaje y la segunda comparación sirvió para determinar si ese entrenamiento se asoció con cambios en la tarea no entrenada.

En primer lugar, se utilizó un modelo lineal generalizado de efectos mixtos (GLMM, por sus siglas en inglés) con la función *fitglme* en Matlab. Los participantes fueron tratados como efectos aleatorios y los 8 intervalos y las 2 sesiones (primera y última sesión de entrenamiento o de prueba, según correspondiera) como efectos fijos para evaluar su efecto en las variables mencionadas. Por tanto, el modelo ajustado se especificó de la siguiente manera:

$$a \sim 1 + \text{intervalo} \cdot \text{sesión} + (1 \mid \text{sujeto})$$

Donde *a* es la variable dependiente, *intervalo* y *sesión* son las variables independientes que fungen como efectos fijos, *sujeto* es el efecto aleatorio y 1 es el intercepto del modelo.

Adicionalmente se realizaron pruebas t de Student de muestras pareadas. Estas pruebas se hicieron agrupando los datos de todos los intervalos para determinar efectos generales del entrenamiento sobre cada variable o por intervalo individual para determinar si intervalos particulares fueron más afectados. Posteriormente, se realizó un ajuste de comparaciones múltiples a partir del método Benjamini-Hochberg.

Se analizaron las variables desempeño (porcentaje de respuestas correctas), umbral relativo, punto de igualdad subjetiva, error constante y la medida de sensibilidad.



## **Resultados**

Se registró la conducta de 42 participantes (edad promedio: 27.4 años  $\pm$  3.9), de los cuales, la mitad realizó la condición 1 (entrenamiento en identificación de intervalos y prueba en categorización) y el resto la condición 2 (entrenamiento en categorización de intervalos y prueba en identificación). Los datos de un participante en la condición 1 fueron descartados debido a que no completó la segunda sesión del entrenamiento. En la condición 2, se descartaron los datos de otro participante debido a que presentó respuestas fuertemente sesgadas hacia los intervalos cortos (desempeño menor al azar, 0.5) durante el entrenamiento. Todos los participantes completaron las cinco sesiones del estudio en cinco días consecutivos.

Para los análisis finales, únicamente se consideraron los datos de aquellos participantes cuyo desempeño por intervalo general entre la última y primera sesión de entrenamiento no empeoró de manera significativa: condición 1 ( $n = 20$ ) y condición 2 ( $n = 18$ ). Esto a partir de una prueba de  $t$  de muestras pareadas.

### **CONDICIÓN 1: ENTRENAMIENTO EN IDENTIFICACIÓN Y PRUEBA EN CATEGORIZACIÓN**

#### **a. CONDICIÓN 1: Cambios de desempeño**

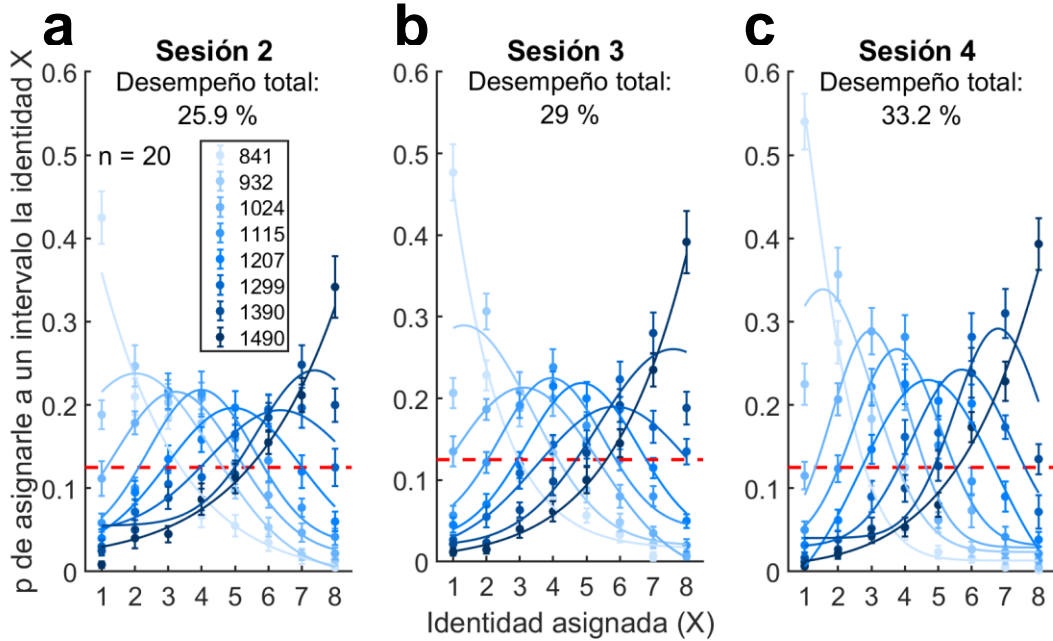
En la condición 1, los participantes fueron entrenados, durante tres sesiones experimentales, en la tarea de identificación de intervalos de tiempo (sesiones 2, 3 y 4), y realizaron la tarea de categorización, con los mismos intervalos, una sesión antes (sesión 1) y una sesión después (sesión 5) de dicho entrenamiento. Las curvas psicométricas y de identificación promedio de todo el grupo para ambas tareas y de cada sesión experimental se muestran en la figura 8.

Para el desempeño general en la fase de entrenamiento en identificación, observamos que el porcentaje de aciertos del grupo de participantes aumentó de 25.9 %  $\pm$  6.2 % (media  $\pm$  desviación estándar) a 33.2 %  $\pm$  7.4 % del primer al último día de entrenamiento (sesión 2 y sesión 4 respectivamente). Esta diferencia fue significativa ( $t_{19} = -9.8$ ,  $p < 0.001$ ), lo cual indica que la práctica de la tarea durante el entrenamiento tuvo un efecto positivo en la capacidad perceptual de los participantes. Por otro lado, en la prueba en categorización realizada después del entrenamiento (sesión 5), el porcentaje

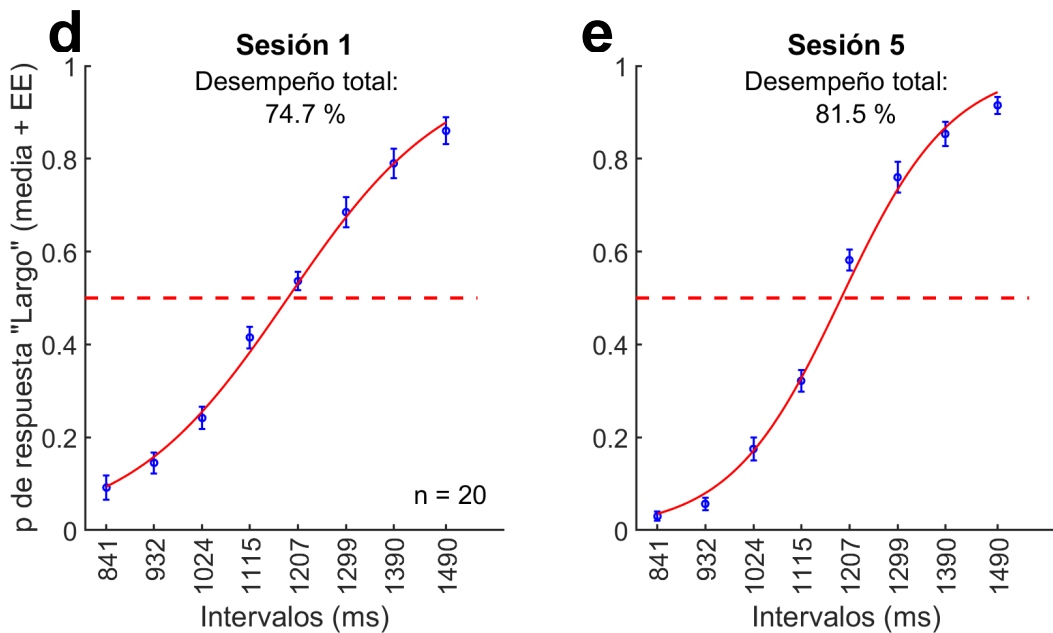
de aciertos fue  $81.5 \% \pm 7.9 \%$ . Este porcentaje fue significativamente mayor ( $t_{19} = -5.4$ ,  $p < 0.001$ ) al  $74.7 \% \pm 5.9 \%$  observado en la misma tarea en la sesión previa al entrenamiento (sesión 1). Esto sugiere que la mejora de desempeño observada durante el entrenamiento en identificación resultó en una mejora de desempeño en la sesión de prueba posterior en la tarea de categorización.

Además, para cada fase del experimento se ajustó un modelo de regresión lineal mixta para evaluar el efecto de la sesión (sesiones 2 y 4 en entrenamiento; sesiones 1 y 5 en prueba), el intervalo, y su interacción en el desempeño de los participantes, quienes fueron tratados como efectos aleatorios. Los resultados indicaron que la variable de sesión tuvo un efecto significativo en el desempeño tanto en el entrenamiento ( $t_{316} = 2.9$ ,  $p < 0.01$ , estimación = 4.5, error estándar = 1.5) como en la prueba ( $t_{316} = 2.6$ ,  $p < 0.01$ , estimación = 1.7, error estándar = 0.6). Sin embargo, el intervalo y la interacción entre sesión e intervalo no mostraron un efecto significativo en ninguno de los casos: Entrenamiento (Intervalo:  $t_{316} = 0.3$ ,  $p = 0.7$ , estimación = 0.3, error estándar = 0.9; Interacción:  $t_{316} = -0.6$ ,  $p = 0.4$ , estimación = -0.2, error estándar = 0.3); Prueba (Intervalo:  $t_{316} = 1.3$ ,  $p = 0.1$ , estimación = 0.6, error estándar = 0.4; Interacción:  $t_{316} = -0.1$ ,  $p = 0.8$ , estimación = 0.6, error estándar = 0.4).

## Entrenamiento



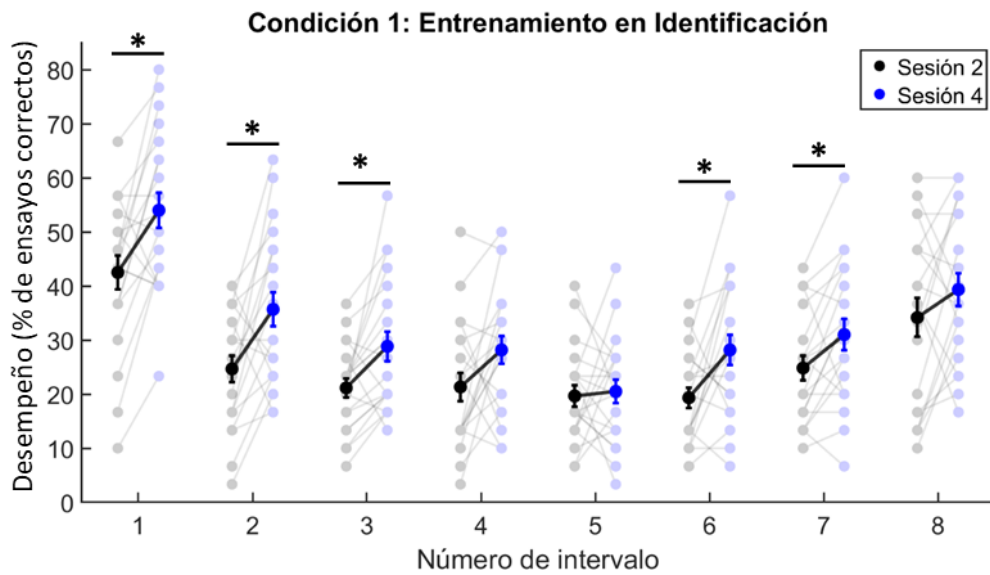
## Prueba



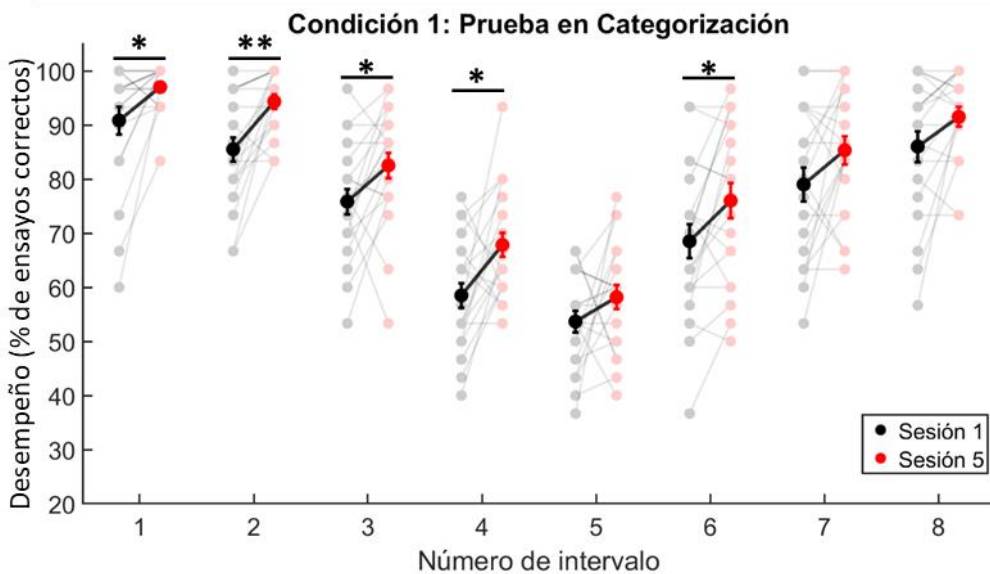
**Figura 8.** Desempeño psicométrico de los participantes en la Condición 1. **a)**, **b)** y **c)** Curvas de identificación de las tres sesiones de entrenamiento. Cada línea de color muestra un ajuste gaussiano a la probabilidad de asignarle a un intervalo específico una de las distintas identidades (identidades 1 a 8; ver el inserto). La probabilidad observada está mostrada por los círculos de colores (media + error estándar). La línea punteada roja indica el nivel de respuesta al azar (1/8,

0.125). En todos los casos se observa que los participantes asignaban, en promedio, la identidad adecuada a cada intervalo (la media del ajuste gaussiano coincide de forma gruesa con la identidad real del intervalo). **d)** Curva psicométrica de la prueba previa al entrenamiento. Se muestra la probabilidad de responder 'largo' para cada uno de los ocho intervalos (media + error estándar). La línea roja continua corresponde al ajuste psicométrico. La línea punteada roja indica el nivel de respuesta al azar (1/2, 0.5). **e)** Curva psicométrica de la prueba posterior al entrenamiento. Mismas convenciones que en d). En todas las gráficas se indican el desempeño total, así como el tamaño de muestra.

A pesar de lo anterior, observamos que algunos cambios de desempeño tendieron a ser específicos a algunos intervalos. Para analizar esto, realizamos una prueba t de Student de muestras pareadas para el porcentaje de respuestas correctas de cada intervalo entre el primer y último día de entrenamiento y entre la prueba previa y posterior. Además, se realizó un ajuste de comparaciones múltiples a partir del método Benjamini-Hochberg. Encontramos que el desempeño aumentó de manera significativa del primer al último día de entrenamiento en identificación (sesiones 2 y 4, respectivamente) en 5 de los 8 intervalos utilizados (figura 9 y tabla 1 en anexos). De manera similar, para la prueba en categorización encontramos un aumento significativo en el desempeño en 5 de los 8 intervalos utilizados de la prueba previa a la posterior (sesiones 1 y 5, respectivamente). Esto se muestra en la figura 10 y tabla 2 (anexos).



**Figura 9.** Desempeño de los participantes en la Condición 1 durante el primer (sesión 2) y último (sesión 4) día de entrenamiento en identificación para cada uno de los ocho intervalos. Los puntos transparentes indican el desempeño de los participantes de manera individual. Los puntos más oscuros indican la media del desempeño para la sesión correspondiente. Los bigotes indican el error estándar. Los asteriscos indican el nivel de significancia: \*  $p < 0.5$ , \*\*  $p < 0.01$ .



**Figura 10.** Desempeño de los participantes en la Condición 1 durante la prueba previa (sesión 1) y posterior (sesión 5) en categorización para cada uno de los ocho intervalos. Los puntos transparentes indican el desempeño de los participantes de manera individual. Los puntos más

oscuros indican la media del desempeño para la sesión correspondiente. Los bigotes indican el error estándar. Los asteriscos indican el nivel de significancia: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ .

Estos datos sugieren que los participantes mostraron un aumento del número de ensayos correctos para ciertos intervalos debido al entrenamiento en la tarea de identificación y que esta mejora tuvo como efecto el aumento del número de ensayos correctos en algunos intervalos en la prueba en la tarea de categorización.

### **b. CONDICIÓN 1: Variables psicométricas asociadas a la mejora de desempeño**

Habiendo determinado que el entrenamiento en identificación se asocia con una mejora del desempeño en la tarea de categorización, tratamos de determinar qué variables psicofísicas están relacionadas con dichas mejoras.

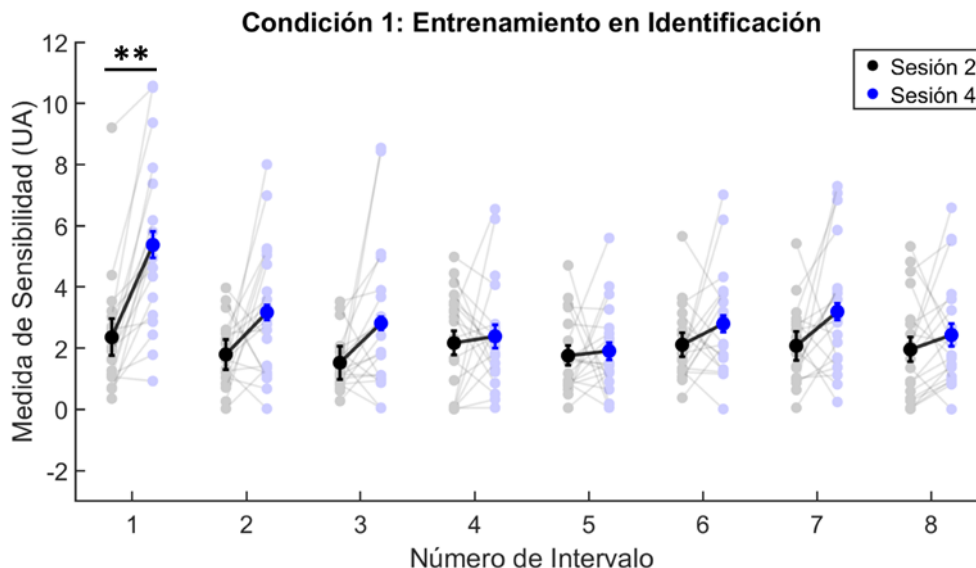
#### **CONDICIÓN 1: Entrenamiento**

Para el caso del entrenamiento en identificación, de cada curva de identificación se pueden calcular la media, la amplitud y la dispersión. La media puede ser usada como una medida de precisión. En participantes que identifican cada intervalo de forma precisa, la media de la curva se encontrará más cercana al valor real del intervalo- A partir de la media se puede calcular el error constante (EC), que calculamos como la diferencia entre el punto medio de la curva ajustada y el valor real del intervalo. El EC nos indica cuánto se desvían las respuestas de los participantes de la identidad real del intervalo. Por otro lado, la amplitud y la dispersión de las curvas pueden ser consideradas como una medida de sensibilidad (MS) de los participantes. En este caso, participantes que sean más sensibles a las diferencias entre los distintos intervalos presentarán curvas de una amplitud mayor y una dispersión menor (figura 7 en la sección “Estrategia experimental”).

Al igual que con el desempeño, para cada fase del experimento se ajustó un modelo lineal generalizado de efectos mixtos para evaluar el efecto de la sesión (sesiones 2 y 4 en entrenamiento; sesiones 1 y 5 en prueba), el intervalo, y su interacción sobre el EC y en la MS de los participantes, quienes fueron tratados como efectos aleatorios. Los resultados indicaron que la sesión tuvo un efecto significativo para la MS ( $t_{310} = 4.4$ ,  $p < 0.001$ , estimación = 0.0004, error estándar =  $9.5808e-05$ ). Para esta variable, la

interacción Sesión x Intervalo también mostró un efecto significativo ( $t_{310} = -2.7$ ,  $p < 0.01$ , estimación =  $-5.1967e-05$ , error estándar =  $1.8946e-05$ ). En cambio, el Intervalo no mostró un efecto significativo ( $t_{310} = 0.6$ ,  $p = 0.5$ , estimación =  $4.2713e-05$ , error estándar =  $6.8481e-05$ ). Para el EC no se observó efecto para ninguna variable: Intervalo ( $t_{310} = -1.5$ ,  $p = 0.1$ , estimación =  $-3.7$ , error estándar =  $2.8$ ); Sesión ( $t_{310} = -1.5$ ,  $p = 0.4$ , estimación =  $-3.1$ , error estándar =  $3.9$ ); interacción Sesión x Intervalo ( $t_{310} = 0.2$ ,  $p = 0.6$ , estimación =  $-0.3$ , error estándar =  $-0.3$ ).

Adicionalmente, comparamos el EC y la MS de las curvas de identificación por intervalo entre el primer y último día de entrenamiento por medio de una prueba t de Student de muestras pareadas. Como era de esperarse para el EC, no hubo diferencias estadísticamente significativas en ningún caso (ver tabla 4 en anexos). En cambio, para la MS, se encontró un aumento estadísticamente significativo ( $t_{19} = -4$ ,  $p < 0.01$ ) en la sensibilidad para el intervalo 1. Éste incrementó de  $0.002 \pm 0.002$  (media  $\pm$  desviación estándar) en la primera sesión de entrenamiento, a  $0.005 \pm 0.002$  en la última sesión de entrenamiento (figura 11 y tabla 3 en anexos). Además, hay que notar que la sensibilidad a los intervalos 2, 3, 6 y 7 también tendió a incrementar, pero de manera no significativa (figura 11). Estos resultados sugieren que el incremento de la sensibilidad al intervalo 1 durante el entrenamiento en identificación contribuyó al incremento en la sensibilidad en la tarea de categorización (detallado en la siguiente sección).



**Figura 11.** Medida de sensibilidad (unidades x 1000) de los participantes en la Condición 1 durante la primer (sesión 2) y última (sesión 4) sesión de entrenamiento en identificación para cada uno de los ocho intervalos. Los puntos transparentes indican la MS de los participantes de manera individual. Los puntos más oscuros indican la media para la sesión correspondiente. Los bigotes indican el error estándar. Los asteriscos indican el nivel de significancia: \*\*  $p < 0.01$ .

### CONDICIÓN 1: Prueba

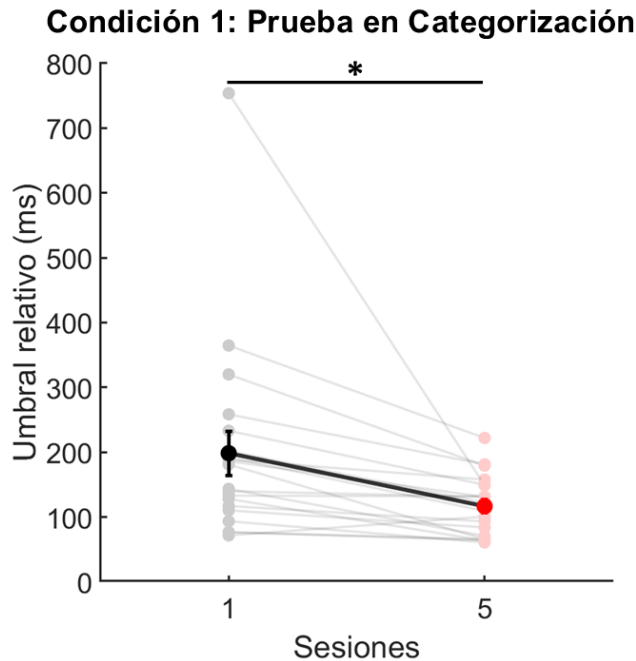
Para determinar con qué variables psicométricas se asocia la mejora de desempeño observada en la prueba de categorización (ver sección a. Cambios de desempeño), realizamos el análisis equivalente al de la sección anterior con las curvas psicométricas. De estas curvas, se calculó el punto de igualdad subjetiva, el error constante y el umbral relativo (para más detalles, revisar la figura 6 de la sección “Estrategia experimental”).

El punto de igualdad subjetiva (PIS) es el intervalo en el que la probabilidad de responder “largo” es de 0.5. Éste indica el límite subjetivo entre la categoría “corto” y “largo”. El error constante (EC) se calculó como la diferencia entre el punto de igualdad subjetiva y el límite teórico entre categorías. Este parámetro representa la diferencia entre el límite entre categorías real y el límite subjetivo de los participantes. El umbral relativo (UR) se calculó como la mitad de la diferencia entre los valores de los estímulos en los cuales  $p$  es de 0.75 y 0.25. Ésta es una medida de la capacidad de los participantes de detectar cambios en los estímulos presentados. Es importante mencionar que, por cada



curva psicométrica, sólo puede calcularse un valor por participante de cada una de estas variables (ver figura 6).

Comparamos los cambios de estas tres variables entre la prueba posterior y previa en categorización (sesiones 5 y 1, respectivamente) por medio de una prueba t de Student de muestras pareadas (ver tabla 13 en Anexos). Sólo se observó una reducción significativa ( $t_{19} = 2.7, p < 0.05$ ) del UR de la prueba previa (198.5 ms  $\pm$  152.7) a la posterior (116.6 ms  $\pm$  46.7), como se muestra en la figura 12. Esto sugiere que la mejora de desempeño observada en la prueba tras el entrenamiento en identificación se debe al aumento de la capacidad de los participantes de detectar los cambios entre los distintos intervalos.



**Figura 12.** Umbral relativo para la primera (sesión 1) y segunda prueba en categorización (sesión 5). Los puntos transparentes indican el UR de los participantes de manera individual. Los puntos más oscuros indican la media para la sesión correspondiente. Los bigotes indican el error estándar. El asterisco indica el nivel de significancia: \*  $p < 0.5$ .

### CONDICIÓN 1: Análisis de los tiempos de reacción

Al igual que con las variables anteriores, se ajustó un modelo lineal generalizado de efectos mixtos para los tiempos de reacción (TR). Considerando a la sesión (sesiones 1 y 5 en la fase de prueba, y sesiones 2 y 4 en la fase de entrenamiento) como efectos

fijos, y su interacción en los TR, tratando a los participantes como efectos aleatorios. Sin embargo, no se encontraron efectos significativos en ningún caso. Para la fase de entrenamiento, los resultados fueron los siguientes: Intervalo ( $t_{316} = -0.06$ ,  $p = 0.9$ , estimación = -6.3, error estándar = 94.3); Sesión ( $t_{316} = -0.2$ ,  $p = 0.7$ , estimación = -0.07, error estándar = 0.2); interacción Sesión x Intervalo ( $t_{316} = 0.04$ ,  $p = 0.9$ , estimación = 0.003, error estándar = 0.07).

Para la fase de prueba: Intervalo ( $t_{316} = -0.2$ ,  $p = 0.8$ , estimación = -2.9, error estándar = 13.7); Sesión ( $t_{316} = 0.4$ ,  $p = 0.6$ , estimación = 0.01, error estándar = 0.04); interacción Sesión x Intervalo ( $t_{316} = 0.5$ ,  $p = 0.5$ , estimación = -0.006, error estándar = -0.01).

En concordancia con lo anterior, las pruebas de t de Student de muestras pareadas para cada intervalo entre las sesiones 2 y 4 (entrenamiento en identificación) y entre las sesiones 1 y 5 (prueba en categorización) no mostraron diferencias significativas para ningún intervalo en ninguna de las fases del experimento. Para más detalles, revisar las tablas 5 y 6 en Anexos.

## RESUMEN DE LA CONDICIÓN 1:

### Condición 1 (n = 20)

Int	Entrenamiento en Identificación				Prueba en Categorización				
	D	MS	EC	TR	D	MS (UR)	PIS	EC	TR
1	* (+)	** (+)			* (+)	* (+)			
2	* (+)				** (+)				
3	* (+)				* (+)				
4					* (+)				
5									
6	* (+)				* (+)				
7	* (+)								
8									

**Tabla 1.** Resumen de los cambios en las variables psicométricas en las tareas de categorización e identificación en la condición 1. Las letras y abreviaturas indican lo siguiente: Int = Intervalo; D = Desempeño; MS = Medida de Sensibilidad (en el caso de la tarea de categorización, es equivalente al Umbral Relativo); EC = Error Constante; TR = Tiempo de Reacción; PIS = Punto de Igualdad Subjetiva. Los signos + indican un incremento en los valores de las variables. Los asteriscos indican el nivel de significancia: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ , \*\*\*  $p < 0.001$ .

En resumen, los resultados hasta aquí mostrados sugieren que durante el entrenamiento en identificación hay un incremento en la sensibilidad (MS) de los participantes a detectar diferencias en el primer intervalo de prueba y un incremento en la proporción de respuestas correctas en cinco de los intervalos (D). Esto se asocia con un incremento, tras el entrenamiento, de la sensibilidad de los participantes a categorizar los distintos intervalos como corto o largo, como lo indica la disminución de los umbrales relativos (MS/UR). Todo esto se ve reflejado en un incremento del número de respuestas correctas en la mayoría de los intervalos. Por otro lado, el EC, y los tiempos de reacción

en el entrenamiento y el PIS, el EC y los tiempos de reacción en la prueba permanecieron inalterados. Estas observaciones se resumen en la tabla 1.

## **CONDICIÓN 2: ENTRENAMIENTO EN CATEGORIZACIÓN Y PRUEBA EN IDENTIFICACIÓN**

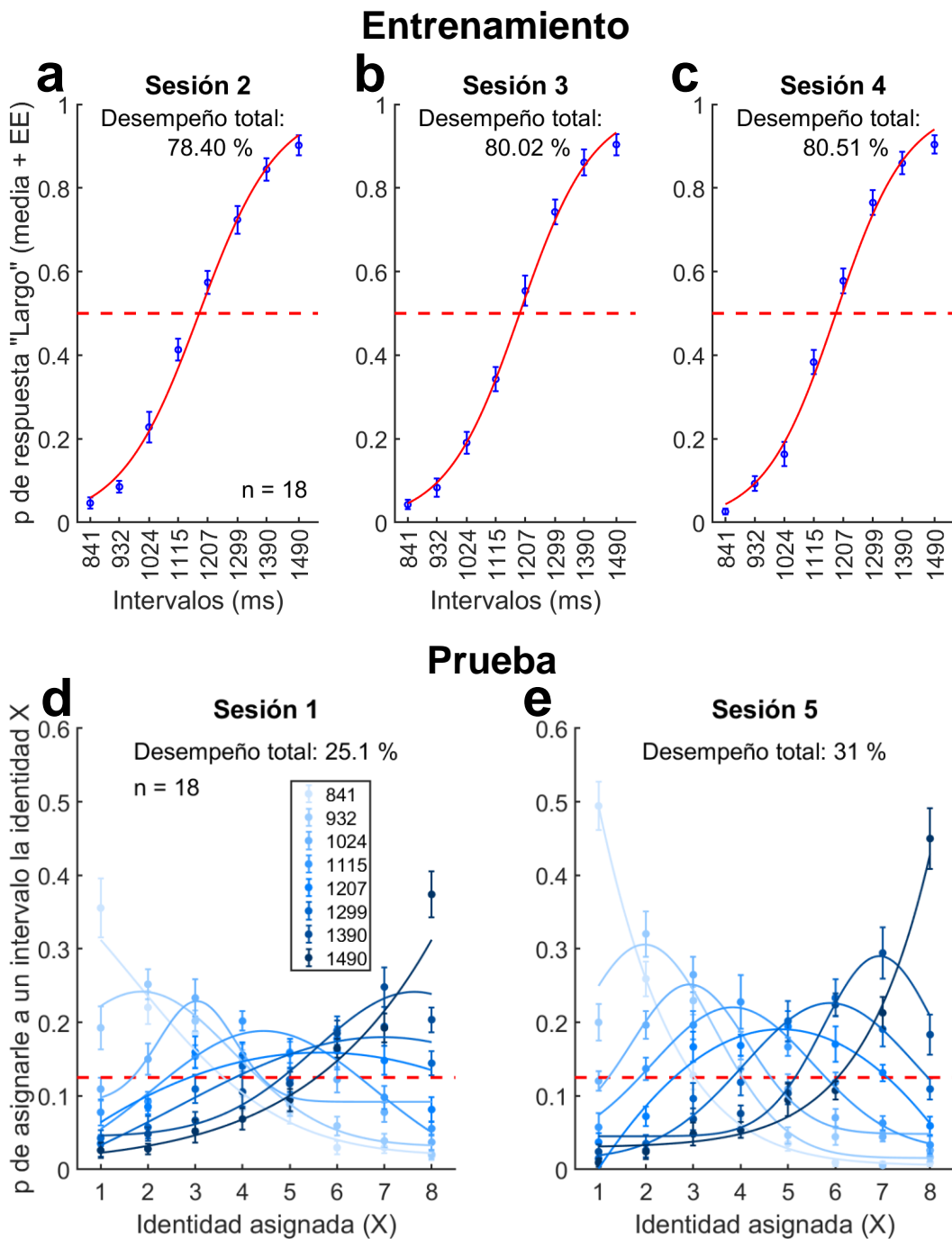
### **a. CONDICIÓN 2: Cambios de desempeño**

En la condición 2, los participantes entrenaron durante tres sesiones continuas en la tarea de categorización de intervalos de tiempo (sesiones 2, 3 y 4) y realizaron la tarea de identificación, antes (sesión 1) y después (sesión 5) de dicho entrenamiento. En ambas tareas se usaron los mismos intervalos que en la primera condición. Las curvas psicométricas y de identificación promedio de todo el grupo para ambas tareas y de cada sesión experimental se muestran en la figura 13.

Para el desempeño general, se muestra que el porcentaje de aciertos del grupo de participantes aumentó de  $78.4 \% \pm 6.7 \%$  (media  $\pm$  desviación estándar) a  $80.5 \% \pm 6.8 \%$  del primer al último día de entrenamiento (sesión 2 y sesión 4 respectivamente). No obstante, tal diferencia no fue significativa ( $t_{17} = -1.8$ ,  $p = 0.08$ ), pero los participantes mantuvieron su desempeño a lo largo de las tres sesiones (figura 13a, b y c). De manera similar, en la tarea en identificación posterior al entrenamiento (sesión 5), el porcentaje de respuestas correctas fue de  $30.9 \% \pm 7.7 \%$ . Este porcentaje fue significativamente mayor ( $t_{17} = -3.3$ ,  $p < 0.01$ ) al  $25.1 \% \pm 6.6 \%$  de la sesión previa al entrenamiento (figura 13d y e). Esto sugiere que el entrenamiento en categorización resultó en una mejora de desempeño en la sesión de prueba posterior en la tarea de identificación.

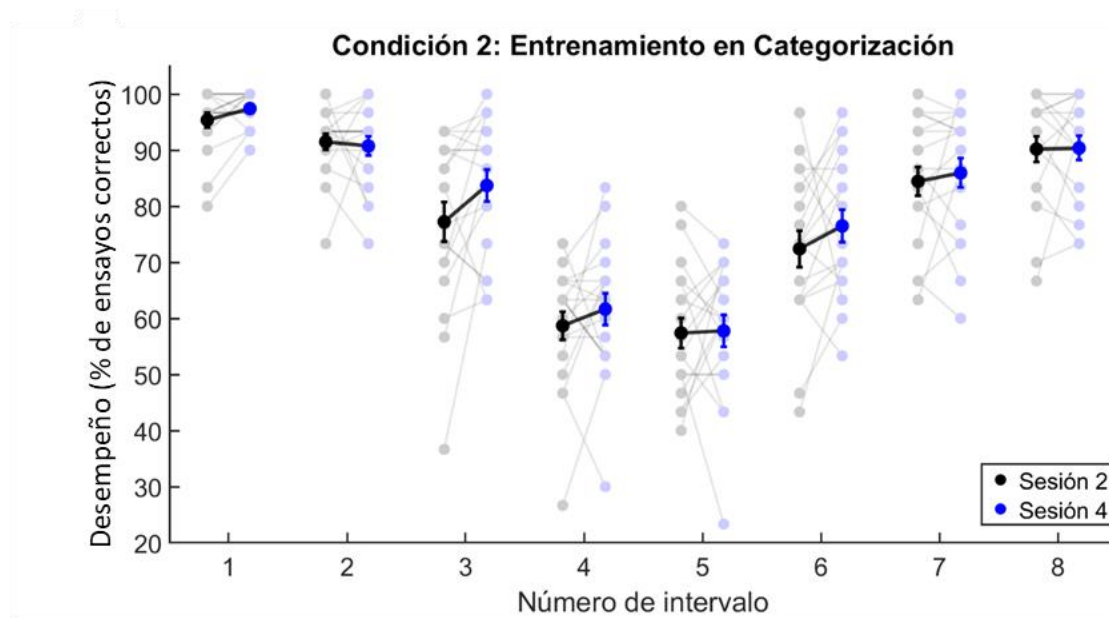
Igual que en la condición 1, para cada fase del experimento se ajustó un modelo lineal generalizado de efectos mixtos para evaluar el efecto de la sesión (sesiones 2 y 4 en entrenamiento), el intervalo, y su interacción Sesión x Intervalo en el desempeño de los participantes en la fase de entrenamiento, quienes fueron tratados como efectos aleatorios. Para esta fase no se encontraron efectos significativos en ninguna variable: Intervalo ( $t_{316} = -0.05$ ,  $p = 0.9$ , estimación =  $-0.04$ , error estándar =  $0.8$ ); Sesión ( $t_{316} = 0.2$ ,  $p = 0.8$ , estimación =  $0.3$ , error estándar =  $1.4$ ); interacción Sesión x Intervalo ( $t_{316} = 0.01$ ,  $p = 0.9$ , estimación =  $0.003$ , error estándar =  $0.2$ ). En concordancia con esto, las pruebas T de muestras pareadas para el porcentaje de respuestas correctas de cada

intervalo entre el primer y último día de entrenamiento no mostraron diferencias significativas para ningún intervalo (figura 14 y tabla 7 en anexos).



**Figura 13.** Desempeño psicométrico de los participantes en la Condición 2. **a), b)** y **c)** Curvas psicométricas de las tres sesiones de entrenamiento. Se muestra la probabilidad de responder 'largo' para cada uno de los ocho intervalos (media + error estándar). La línea roja continua

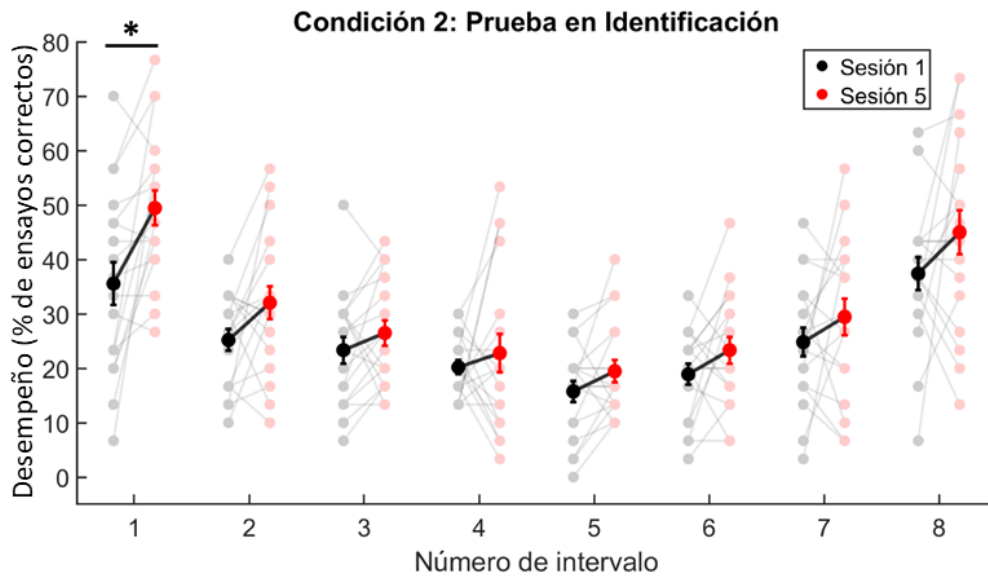
corresponde al ajuste psicométrico. La línea punteada roja indica el nivel de respuesta al azar (1/2, 0.5). **d)** y **e)** Curvas de identificación de la prueba previa y posterior al entrenamiento, respectivamente. Cada línea de color muestra un ajuste gaussiano a la probabilidad de asignarle a un intervalo específico una de las distintas identidades (identidades 1 a 8; ver el inserto). La probabilidad observada está mostrada por los círculos de colores con el error estándar. La línea punteada roja indica el nivel de respuesta al azar (1/8, 0.125). En todos los casos se observa que los participantes asignaban, en promedio, la identidad adecuada a cada intervalo (la media del ajuste gaussiano coincide de forma gruesa con la identidad real del intervalo). Se indican el desempeño total, así como el tamaño de muestra.



**Figura 14.** Desempeño de los participantes en la Condición 2 durante el primer (sesión 2) y último (sesión 4) día de entrenamiento en identificación para cada uno de los ocho intervalos. Los puntos transparentes indican el desempeño de los participantes de manera individual. Los puntos más oscuros indican la media para la sesión correspondiente. Los bigotes indican el error estándar.

Al igual que en el entrenamiento, para la fase de prueba se ajustó un modelo lineal generalizado de efectos mixtos para evaluar el efecto de la sesión sobre el desempeño (sesiones 1). No se encontraron efectos significativos en ninguna variable: Intervalo ( $t_{316} = -0.05$ ,  $p = 0.9$ , estimación =  $-0.04$ , error estándar =  $0.8$ ); Sesión ( $t_{316} = 0.2$ ,  $p = 0.8$ , estimación =  $0.3$ , error estándar =  $1.4$ ); interacción Sesión x Intervalo ( $t_{316} = 0.01$ ,  $p = 0.9$ , estimación =  $0.003$ , error estándar =  $0.2$ ). Intervalo ( $t_{316} = 0.02$ ,  $p = 0.9$ , estimación =  $0.01$ , error estándar =  $0.5$ ); Sesión ( $t_{316} = 1.7$ ,  $p = 0.8$ , estimación =  $1.2$ , error estándar =

0.7); interacción Sesión x Intervalo ( $t_{316} = 0.1$ ,  $p = 0.9$ , estimación = 0.001, error estándar = 0.1). A pesar de esto, cuando realizamos la prueba t de Student de muestras pareadas para el porcentaje de respuestas correctas de cada intervalo observamos que el intervalo 1 mostró un incremento significativo ( $t_{17} = -3.4$ ,  $p < 0.05$ ) de la primera sesión de prueba (35.5 %  $\pm$  16.9) al último día de prueba (49.4 %  $\pm$  13.9). Esto se muestra en la figura 15 y tabla 8 (anexos).



**Figura 15.** Desempeño de los participantes en la Condición 2 en durante la prueba previa (sesión 1) y posterior (sesión 5) en identificación para cada uno de los ocho intervalos. Los puntos transparentes indican el desempeño de los participantes de manera individual. Los puntos más oscuros indican la media para la sesión correspondiente. Los bigotes indican el error estándar. Los asteriscos indican el nivel de significancia: \*  $p < 0.5$ .

### b. CONDICIÓN 2: Variables psicométricas asociadas a la mejora de desempeño

De manera similar a la condición 1, nos propusimos saber si las variables psicofísicas de ambas tareas sufrieron cambios significativos en ambas fases.

### CONDICIÓN 2: Entrenamiento

A partir de las curvas psicométricas obtenidas en el entrenamiento en categorización, calculamos las variables PIS, EC y UR. Comparamos los cambios de

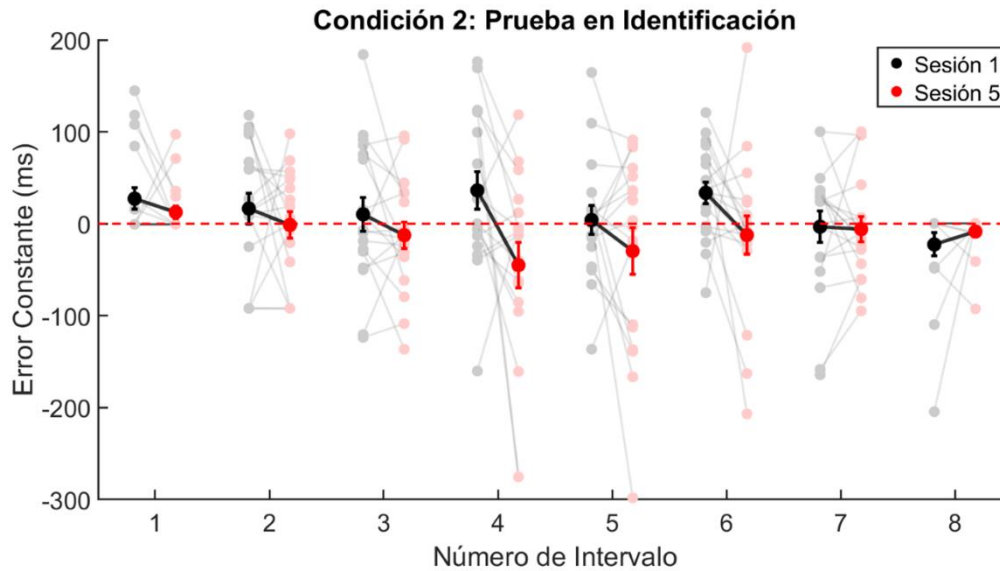
dichas variables entre la primera y última sesión de entrenamiento en categorización (sesiones 2 y 4, respectivamente) por medio de una prueba t de Student de muestras pareadas. No encontramos diferencias significativas para ninguna de las variables psicométricas en la tarea de categorización: EC y PIS ( $t_{17} = -0.3$ ,  $p = 0.7$ ); UR ( $t_{17} = 1.6$ ,  $p = 0.1$ ). Esto se muestra en la tabla 14 en la sección de Anexos.

## **CONDICIÓN 2: Prueba**

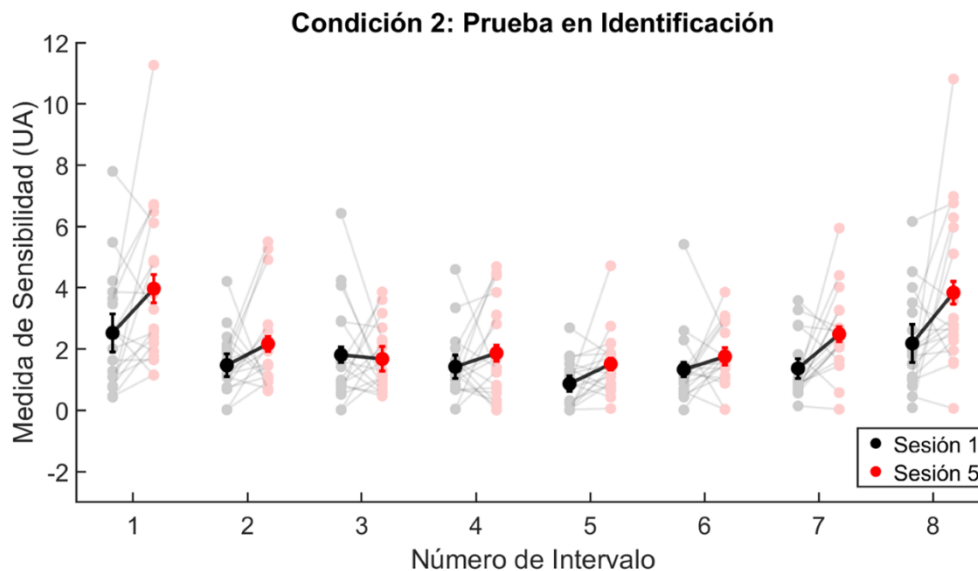
Ajustamos un modelo lineal generalizado de efectos mixtos para evaluar el efecto de la sesión (sesiones 1 y 5 en prueba), el intervalo, y su interacción en el EC y en la MS de los participantes, quienes fueron tratados como efectos aleatorios. Ninguna de las variables mostró un efecto significativo en EC o en la MS. EC: Intervalo ( $t_{279} = -1.8$ ,  $p = 0.06$ , estimación = -5.7, error estándar = 3.1); Sesión ( $t_{279} = -2.2$ ,  $p = 0.02$ , estimación = -9.7, error estándar = 4.3); interacción Sesión x Intervalo ( $t_{279} = 0.8$ ,  $p = 0.3$ , estimación = 0.7, error estándar = 0.8). MS: Intervalo ( $t_{279} = -0.9$ ,  $p = 0.3$ , estimación = -6.9324e-05, error estándar = 7.6846e-05); Sesión ( $t_{279} = 1.2$ ,  $p = 0.2$ , estimación = 0.0001, error estándar = 0.0001); interacción Sesión x Intervalo ( $t_{279} = 0.7$ ,  $p = 0.4$ , estimación = 1.5381e-05, error estándar = 2.1213e-05).

Después realizamos una prueba t de Student de muestras pareadas para estas dos variables (EC y MS) para cada uno de los intervalos en las sesiones 1 y 5. No encontramos diferencias estadísticamente significativas para ninguno de los intervalos en ninguna de las variables (ver figuras 16 y 17, y tablas 9 y 10 en anexos).





**Figura 16.** Error constante de los participantes en la Condición 2 en la prueba previa (sesión 1) y posterior (sesión 5) en identificación para cada uno de los ocho intervalos. Los puntos transparentes indican el EC de los participantes de manera individual. Los puntos más oscuros indican la media para la sesión correspondiente. Los bigotes indican el error estándar. La línea punteada roja indica el valor cero.



**Figura 17.** Medida de sensibilidad (unidades arbitrarias multiplicadas x 1000) de los participantes en la Condición 2 en las sesiones 1 (prueba previa) y 5 (prueba posterior) en identificación para cada uno de los ocho intervalos. Los puntos transparentes indican la MS de los participantes de manera individual. Los puntos más oscuros indican la media para la sesión correspondiente. Los bigotes indican el error estándar.

A partir de estos resultados, podemos asumir que el entrenamiento en categorización conllevó a una mejora en el desempeño del intervalo el más corto. Esto no ocurrió para el resto de los intervalos.

Estas observaciones sugieren que durante el entrenamiento en categorización hay un incremento en la sensibilidad de los participantes a detectar diferencias en los intervalos más cortos en la tarea de identificación. Probablemente esto se ve reflejado sólo en el incremento significativo de respuestas correctas para el intervalo 1 en la prueba en identificación.

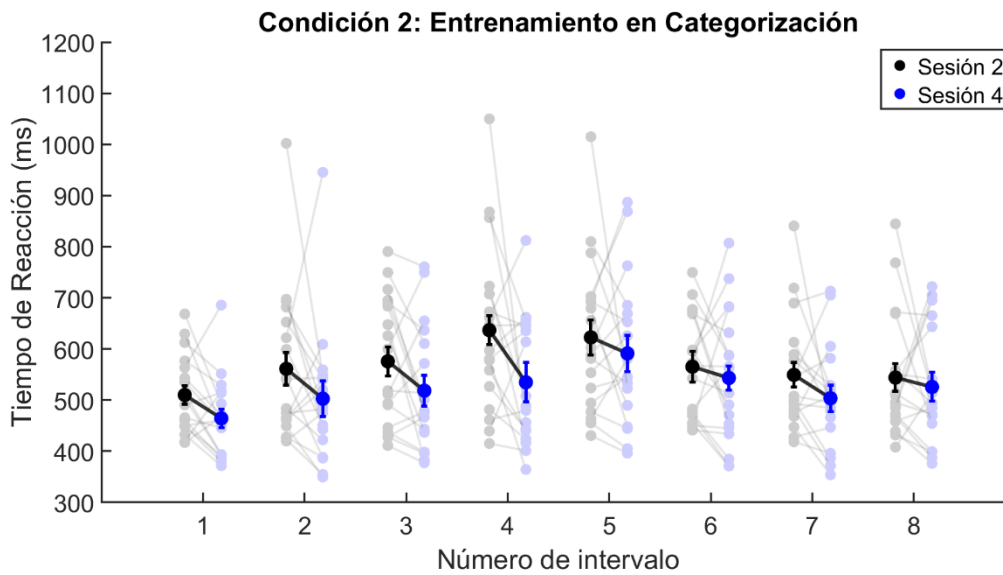
### **a. CONDICIÓN 2: Análisis de los tiempos de reacción**

Para saber el efecto de las variables Sesión (sesiones 1 y 5 en la fase de prueba, y sesiones 2 y 4 en la fase de entrenamiento), Intervalo (intervalos 1 a 8) y la interacción Sesión x Intervalo sobre los tiempos de reacción (TR), se ajustó un modelo lineal generalizado de efectos mixtos. La Sesión y el Intervalo se trataron como efectos fijos y los participantes como efectos aleatorios. En la fase de entrenamiento en categorización, únicamente la variable Intervalo mostró un efecto significativo ( $t_{316} = 2.1$ ,  $p < 0.05$ , estimación = -66.6, error estándar = 31.12) en los tiempos de reacción. Para la Sesión, los resultados fueron  $t_{316} = -0.6$ ,  $p = 0.5$ , estimación = -0.05, error estándar = 0.08; Para la interacción Sesión x Intervalo,  $t_{316} = 1.2$ ,  $p = 0.2$ , estimación = 0.03, error estándar = 0.02.

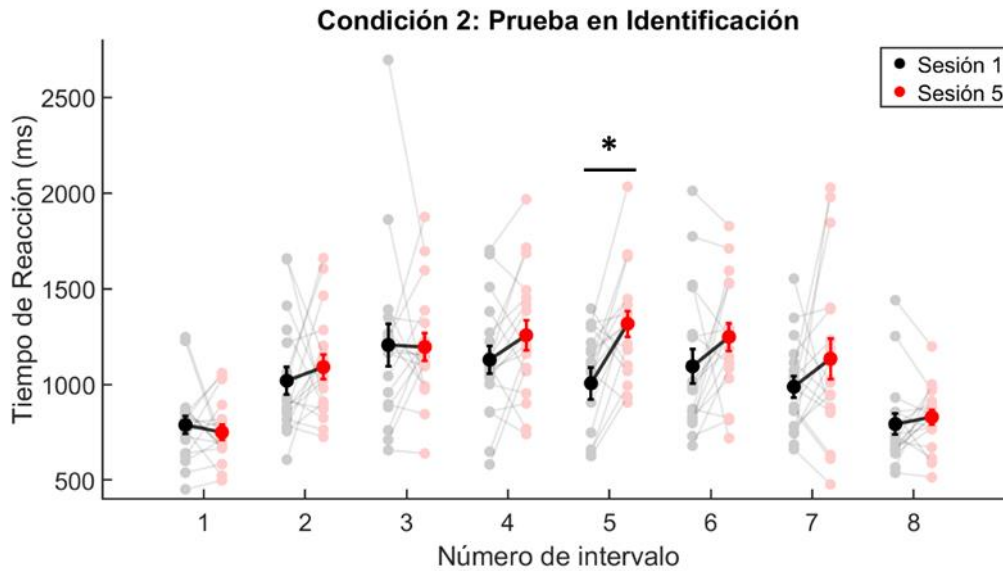
Para la fase de prueba, no hubo ningún efecto significativo: Intervalo ( $t_{315} = 0.07$ ,  $p = 0.9$ , estimación = 3.7, error estándar = 47.8); Sesión ( $t_{315} = -0.2$ ,  $p = 0.8$ , estimación = -0.03, error estándar = 0.14); interacción Sesión x Intervalo ( $t_{315} = 0.3$ ,  $p = 0.7$ , estimación = 0.01, error estándar = 0.04).

Posteriormente se realizó la prueba t de Student para cada uno de los intervalos entre las sesiones 2 y 4 para la fase de entrenamiento, y entre las sesiones 1 y 5 para la fase de prueba. En la fase de entrenamiento en categorización no se encontraron diferencias significativas para ningún intervalo (ver figura 18 y tabla 11 en anexos). Para la fase de prueba, se encontraron diferencias significativas ( $t_{17} = -3.3$ ,  $p < 0.05$ ) entre los tiempos de reacción del intervalo 5 de la sesión 1 (1064.9 ms  $\pm$  251.1) a la sesión 5

(1316.9 ms  $\pm$  284.1) (ver figura 19 y tabla 12 en anexos). Esto podría indicar que, después de entrenar en la tarea de categorización, los participantes tienden a tardar más en iniciar el movimiento cuando se presenta el intervalo mayor y más cercano al límite entre categorías (intervalo 5). Es importante notar que los intervalos 6 y 7 también mostraron una tendencia a presentar mayores tiempos de reacción, pero no fue significativa (figura 19).



**Figura 18.** Tiempos de reacción de los participantes en la Condición 2 en las sesiones 2 (primer día de entrenamiento) y 4 (último día de entrenamiento) en categorización para cada uno de los ocho intervalos. Los puntos transparentes indican los tiempos de reacción para los participantes de manera individual. Los puntos más oscuros indican la media para la sesión correspondiente. Los bigotes indican el error estándar.



**Figura 19.** Tiempos de reacción de los participantes en la Condición 2 en las sesiones 1 (prueba previa) y 5 (prueba posterior) en identificación para cada uno de los ocho intervalos. Los puntos transparentes indican los tiempos de reacción para los participantes de manera individual. Los puntos más oscuros indican la media para la sesión correspondiente. Los bigotes indican el error estándar. Los asteriscos indican el nivel de significancia: \*  $p < 0.05$ .

### RESUMEN DE LA CONDICIÓN 2:

En el entrenamiento en categorización no hubo cambios significativos en ninguna variable. En cambio, en la prueba en identificación observamos un aumento del número de respuestas correctas para el intervalo más corto. Además, también encontramos que el TR del intervalo 5 aumentó (Tabla 2, derecha).

Condición 1 (n= 20)

Condición 2 (n= 18)

Int	Entrenamiento en Identificación				Prueba en Categorización					Entrenamiento en Categorización					Prueba en Identificación			
	D	MS	EC	TR	D	MS (UR)	PIS	EC	TR	D	MS (UR)	PIS	EC	TR	D	MS	EC	TR
1	* (+)	** (+)			* (+)										* (+)			
2	* (+)				** (+)													
3	* (+)				* (+)													
4					* (+)													
5						* (+)												* (+)
6	* (+)				* (+)													
7	* (+)																	
8																		

**Tabla 2.** Resumen de los cambios en las variables psicométricas en las tareas de categorización e identificación en la condición 1 (izquierda) y 2 (derecha). Las letras y abreviaturas indican lo siguiente: Int = Intervalo, D = Desempeño; MS = Medida de Sensibilidad (en el caso de la tarea de categorización, es equivalente al Umbral Relativo); EC = Error Constante; TR = Tiempo de Reacción; PIS = Punto de Igualdad Subjetiva. Los signos + y – indican los cambios positivos y negativos respectivamente en los valores de las variables. Los asteriscos indican el nivel de significancia: \*  $p < 0.05$ , \*\*  $p < 0.01$ .

A continuación, discutimos brevemente estos resultados en el contexto de nuestras hipótesis y los trabajos e hipótesis de autores previos.

## **Discusión**

El diseño de nuestro estudio es novedoso debido a que, hasta la fecha, no hay otros estudios en los que se haya usado un paradigma de transferencia de aprendizaje entre distintas tareas temporales. Un experimento similar de transferencia entre tareas sólo se ha utilizado en un estudio de psicofísica y fMRI en humanos para determinar si el entrenamiento en la categorización de formas visuales mejora el desempeño en la discriminación de los mismos estímulos entrenados. Se concluyó que el aprendizaje de categorías visuales implica la formación de representaciones selectivas a estímulo que son independientes de tarea (Jiang et al., 2007), lo cual es una observación contraria a lo que nosotros encontramos en nuestro estudio para el caso de la categorización e identificación de intervalos de tiempo visuales. Por otro lado, en cuanto a la percepción de intervalos, no conocemos otros estudios en los que se analicen las variables psicofísicas para cada uno de los intervalos en categorización e identificación. En general, los estudios de psicofísica analizan el efecto sobre todos los intervalos agrupados (Cambraia et al., 2020; Siegel, 1972; Wearden, 1991). El análisis para cada intervalo de manera individual nos brindó más información sobre qué variables influyeron en el cambio de desempeño de una tarea a otra.

Considerando cada una de las tareas, como independiente, sin el paradigma de transferencia de aprendizaje, nuestros resultados coinciden con observaciones previas. En nuestro estudio, los participantes mostraron tiempos de reacción más cortos para la tarea de categorización que para la de identificación. Algo similar a lo reportado por Bannier y colaboradores (2019), quienes hallaron tiempos de reacción más cortos para la tarea de categorización que para la de generalización de intervalos y concluyeron que la identificación es más demandante que la categorización de intervalos (Bannier et al., 2019). En nuestro trabajo hay que considerar que en la categorización los participantes sólo tuvieron dos opciones de respuesta, mientras que en identificación debieron elegir entre ocho respuestas distintas.

Nuestros resultados también coinciden con las observaciones de estudios en los cuales se analizó el desempeño de participantes humanos en cada tarea por separado. En la tarea de identificación, por ejemplo, encontramos que los tiempos de reacción son mayores para los intervalos intermedios que para los extremos. Esto es similar a lo reportado por Lacouture y colaboradores (2011). A esta dificultad para identificar los estímulos intermedios se le conoce como efecto del arco (*bow effect*; Lacouture et al., 2001; McCormack et al., 2002) debido a la forma en “U” invertida que se obtiene en las gráficas, debido a que en los estímulos extremos los tiempos de reacción son menores que en los estímulos intermedios. Con el de desempeño ocurre algo similar, con mayores aciertos en los estímulos extremos (los más cortos o largos) que en los intermedios (Lacouture et al., 2001). Algunos autores han propuesto que esto es resultado de la carga de memoria a corto plazo y que depende de la cantidad de estímulos presentados en el experimento (Durlach y Braida, 1969; Siegel, 1972). Miller (1956), por ejemplo, indica que los humanos podemos mantener  $7 \pm 2$  objetos en la memoria a corto plazo. Otros han propuesto que los participantes usan los estímulos extremos como “anclas” para poder juzgar al resto de los estímulos (Eriksen y Hake, 1957), razón por la cual se almacenan mejor en la memoria que los estímulos intermedios. A pesar de las distintas hipótesis, aún no se entienden del todo las causas de este fenómeno.

En cuanto a la tarea de categorización, observamos la curva sigmoidea que es usual en este tipo de estudios. Hay una mayor probabilidad de responder “largo” para los intervalos de mayor duración y no así para los de menor duración y más errores de decisión para los intervalos intermedios (Kopec y Brody, 2010; Méndez et al., 2011; Merrit et al., 2010; Ng et al., 2011; Ortega y López, 2008; Wearden, 2016). También observamos que el punto igualdad subjetiva, que es el intervalo de tiempo al cual la probabilidad de respuesta ‘largo’ es de 0.5 y que representa el límite subjetivo entre categorías, fue cercano a la media de las duraciones de prueba (ver tablas 13 y 14 en Anexos; Kopec y Brody, 2010; Méndez et al., 2011; Merrit et al., 2010; Ortega y López, 2008).

Adicionalmente, nuestro diseño experimental de transferencia de aprendizaje nos permitió observar otros fenómenos que no habían sido reportados en estudios previos. La hipótesis que planteamos fue que, en caso de que la categorización e identificación de intervalos de tiempo compartieran los mismos mecanismos de procesamiento

temporal, aquellos participantes entrenados en una tarea de categorización mostrarían mejoras en una tarea de identificación de los mismos intervalos y viceversa. De no ser así, esto podría indicar que para realizar cada tarea se requieren de mecanismos distintos. Nuestros resultados apoyan la hipótesis de que, para ambas tareas, se requieren mecanismos distintos. Por ejemplo, que el entrenamiento en identificación se asoció con un mejor desempeño en la mayoría de los intervalos en la tarea de categorización, pero no a la inversa (Tabla 2). Esto nos indica que la transferencia de una tarea a otra es asimétrica y coincide con nuestra hipótesis de que la identificación de intervalos requiere la cuantificación de la duración de cada intervalo mientras que la categorización no, ya que en este caso basta con una representación neuronal del límite entre categorías (ver más abajo). Además, en la prueba de identificación y después de que los participantes entrenaran en categorización, observamos una mejora significativa en el desempeño (D) del intervalo 1 y un incremento del tiempo de reacción del intervalo 5 (Tabla 2). Coincidentemente, el intervalo 1 es el anclaje más corto, mientras que el intervalo 5 es uno de los intervalos cercanos al límite subjetivo entre categorías.

Este patrón de transferencia coincide con las observaciones que se han hecho en los pocos estudios de categorización de intervalos. Ng y colaboradores (2011) observaron que la duración cercana al límite entre categorías y el intervalo más corto se ven reflejados en el EEG de participantes humanos. En este caso, la amplitud del EEG comenzó a incrementar después del inicio de los intervalos, llegó a su pico en un tiempo cercano al intervalo más corto y se mantuvo estable hasta un tiempo cercano a la media de los intervalos de prueba, tiempo que fue cercano al punto de igualdad subjetiva de los participantes. Aunque Ng et al. (2011) no reportan datos de EEG para el intervalo más largo, sugieren que la duración de los intervalos más corto y largo es importante para el ajuste fino del límite entre categorías de los participantes y que el EEG refleja ese límite (Ng et al., 2011). De hecho, otros autores coinciden en que el límite subjetivo comúnmente coincide con la media de los intervalos más corto y largo (Allan y Gibbon, 1991).

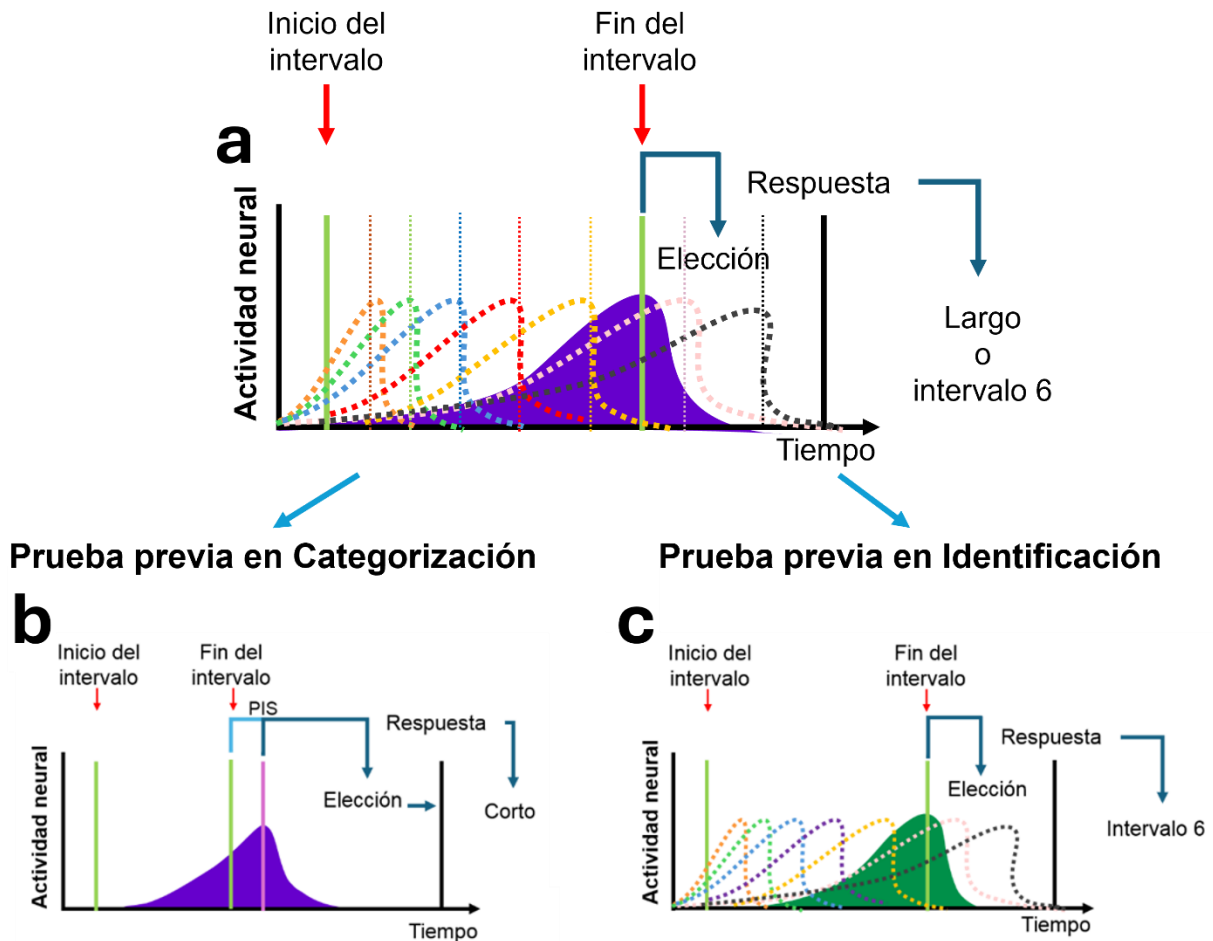
Nuestras observaciones conductuales y las observaciones previas de EEG apuntan a que, durante el entrenamiento en categorización, los participantes desarrollan una representación neural de un límite subjetivo cercano a los intervalos 4-5 y que los



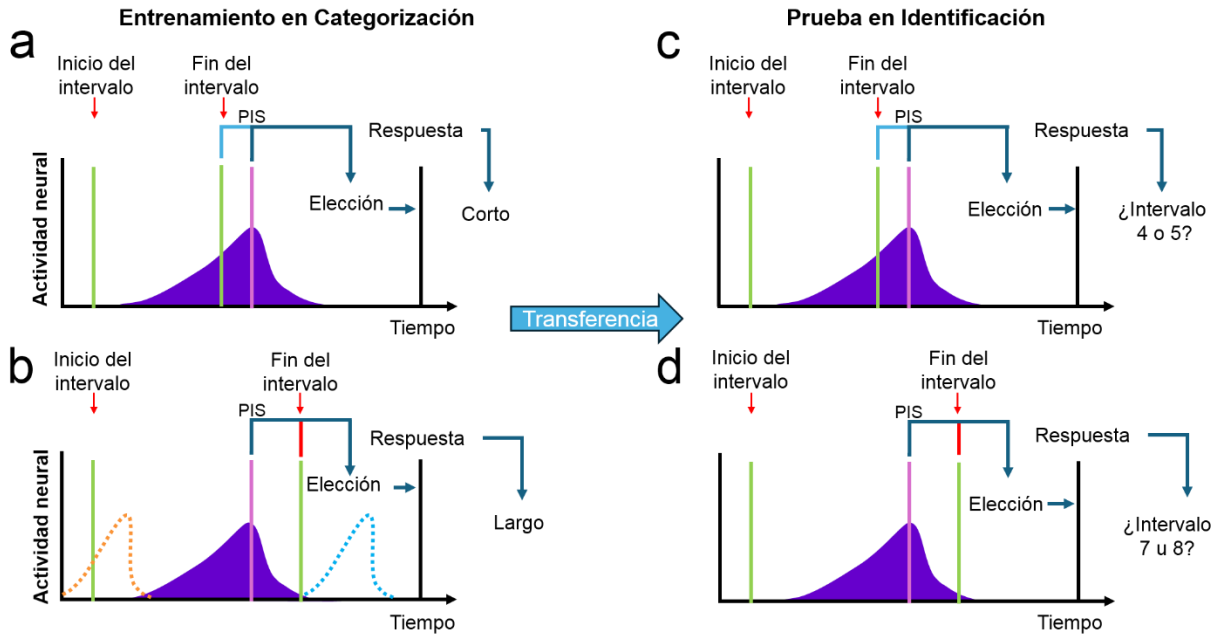
participantes usan el límite para juzgar la categoría de los intervalos de prueba. Es probable que esta representación neural implique la cuantificación del tiempo desde el inicio del intervalo hasta el momento que divide los intervalos en corto y largo. Así, intervalos que terminan antes del límite subjetivo son clasificados como cortos y los que superan el límite son clasificados como largos. Bajo este mecanismo, una vez que cualquier intervalo ha superado el límite, ya no requiere seguir siendo cuantificado en su totalidad y los participantes dejan de prestar atención a la duración total de dichos intervalos (Bannier et al., 2019; Pfeuty, 2005). Esto explicaría por qué, tras el entrenamiento en categorización y durante la prueba de identificación, el intervalo 5 sufre de un aumento en el Tiempo de Reacción (Tabla 2, derecha). De hecho, los intervalos 6 y 7 también tendieron a aumentar su Tiempo de Reacción promedio, pero de forma no significativa (figura 19). Este aumento en el tiempo de reacción indicaría mayor incertidumbre para identificar los intervalos que superan la duración del Límite Subjetivo en comparación con aquellos intervalos que no (intervalos 1, 2, 3 y 4). Reforzando esta hipótesis, observamos que el intervalo 5 (1207 ms) de la prueba en identificación, fue cercano al punto de igualdad subjetiva (PIS: 1169 ms) de los participantes en el último día de entrenamiento en categorización con el intervalo 5 mayor al PIS por 38 milisegundos.

Un modelo que explica los fenómenos observados en nuestro experimento de transferencia y las observaciones de estudios de EEG se puede observar en las figuras 20, 21 y 22.

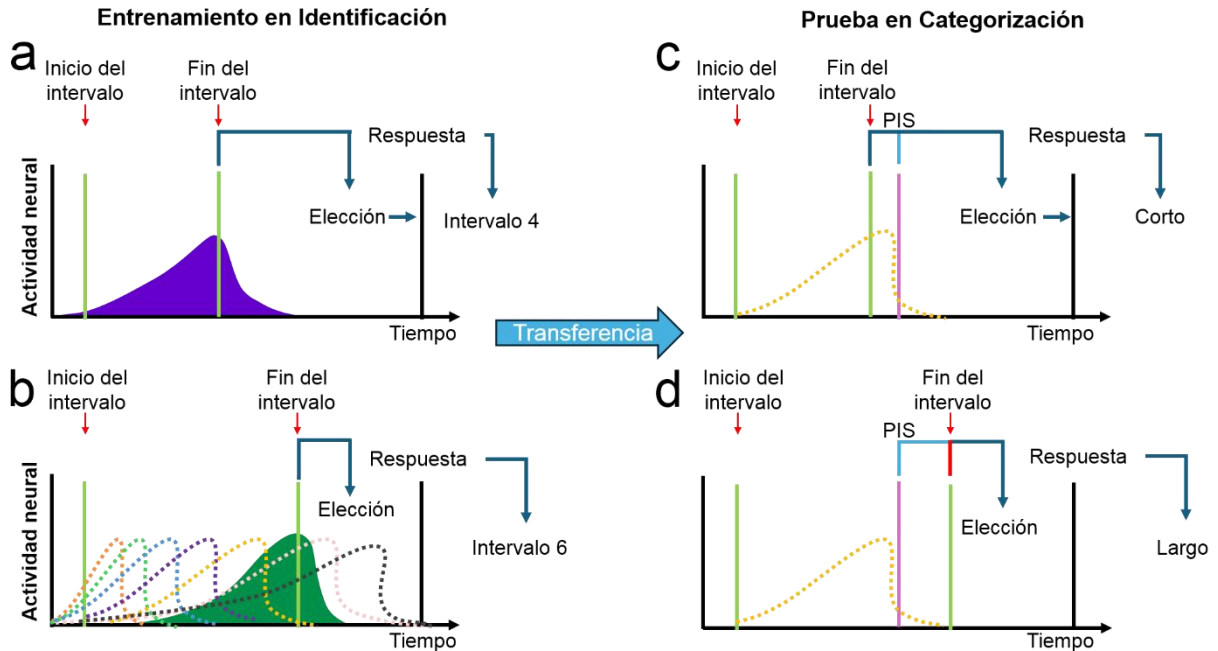
## Prueba previa en Categorización y prueba previa en Identificación



**Figura 20.** Modelo para explicar las observaciones en el ajuste de la cuantificación temporal durante el transcurso de la prueba previa en categorización e identificación. **a)** Durante los primeros ensayos en ambas tareas, los participantes cuantificarían el intervalo completo, sin importar el tipo de respuesta. **b)** En la prueba previa en categorización, los participantes eventualmente cesarían de contabilizar el transcurso de cada intervalo y definirían el Punto de Igualdad Subjetiva (PIS) entre las categorías “corto” y “largo”. Si el intervalo no supera el PIS, los participantes elegirían la respuesta “corto”. La línea rosa representa el PIS. La línea negra indica el momento en el que aparecen los círculos de respuesta. **c)** En la prueba previa en identificación, los participantes continuarían cuantificando el intervalo completo para poder elegir la respuesta correcta. Cada línea punteada indica una representación de la actividad neural para cada uno de los intervalos.



**Figura 21.** Modelo para explicar las observaciones en la transferencia de aprendizaje de categorización a identificación de intervalos. **a)** En el entrenamiento en categorización, el tiempo transcurrido se cuantificaría sólo hasta el límite entre categorías o Punto de Igualdad Subjetiva (PIS; actividad neural en color morado), el cual estaría sobre-entrenado debido a que este valor serviría como criterio interno para categorizar todos los intervalos de prueba. El tiempo del punto más alto de actividad correspondería al PIS y esta información se consideraría para elegir una respuesta. Si el intervalo de prueba acaba antes del pico de actividad, la respuesta del participante es “corto”. **b)** Si el intervalo de prueba acaba después, la respuesta del participante es “largo”. El límite entre categorías se afinaría constantemente con los ensayos de los intervalos más corto y más largo (líneas punteadas). **c)** y **d)** Se muestra la transferencia a los intervalos cortos y largos en la tarea de categorización. Dado que el entrenamiento en categorización resulta en un entrenamiento de la representación del PIS, habría mayor incertidumbre en la identificación de los intervalos mayores a este PIS, lo cual resultó en un aumento significativo del Tiempo de Reacción para el intervalo 5 y aumentos no significativos para los intervalos 6 y 7. La línea rosa representa el PIS. La línea negra indica el momento en el que aparecen los círculos de respuesta. La línea roja indica que el intervalo terminó después del PIS.



**Figura 22.** Modelo para explicar las observaciones en la transferencia de aprendizaje de identificación a categorización de intervalos. **a)** En el entrenamiento en identificación, el tiempo transcurrido se cuantificaría desde el inicio hasta el fin del intervalo. El tiempo del punto más alto de actividad ocurriría al finalizar el intervalo y esto se consideraría para elegir una respuesta, en este ejemplo, el intervalo 4. **b)** Algo equivalente ocurriría en los ensayos en los que se presentan cada uno de los otros intervalos (mostrados en las líneas punteadas con distintos colores). **c) y d)** Se muestra lo que podría estar ocurriendo en la transferencia a la prueba en categorización. Durante la tarea de categorización los participantes podrían usar la duración entrenada en la tarea de identificación más cercana al límite entre categorías (línea punteada amarilla) como Límite Subjetivo para categorizar todos los intervalos. Esto podría explicar la mejora generalizada de la sensibilidad (Umbral Relativo) y de desempeño en la mayoría de los intervalos observada en la tarea de identificación. Las líneas verdes indican el inicio y final del intervalo ejemplificado (en este caso el 6). La línea rosa el PIS. La línea negra indica el momento en el que aparecen los círculos de respuesta. La línea roja indica que el intervalo terminó después del PIS.

En conclusión, podemos afirmar que existe una transferencia de aprendizaje asimétrica, ya que el entrenamiento en una tarea puede tener un efecto positivo o no en el desempeño de determinados intervalos en la otra tarea. Adicionalmente, dependiendo

de la tarea en la que se entrene, distintos intervalos tendrán un cambio en variables como la sensibilidad y los tiempos de reacción en identificación, o en el umbral relativo en categorización. La razón para estas diferencias en el desempeño y otras variables sugiere diferencias en la manera en la que los participantes cuantifican el tiempo, ya sea estableciendo un límite entre dos categorías, o cuantificando el intervalo completo para poder otorgarle una identidad. En consecuencia, nuestros resultados apoyan la hipótesis de que, para las tareas de categorización e identificación de intervalos de tiempo, los detalles del mecanismo neural requerido para resolver las tareas son distintos. Finalmente, nuestro estudio valida la utilidad de los paradigmas de transferencia de aprendizaje entre distintas tareas perceptuales e indica que se pueden llegar a conclusiones congruentes con las conclusiones de los estudios de EEG.

## Referencias

- Allan, L., & Gibbon, J. (1991). Human bisection at the geometric mean. *Learning and motivation*, 22(1-2), 39-58.
- Ashby, F., & Maddox, W. (2005). Human category learning. *Annual review of psychology*, 56(1), 149-178.
- Bannier, D., Wearden, J., Le Dantec, C., & Rebaï, M. (2019). Differences in the temporal processing between identification and categorization of durations: a behavioral and ERP study. *Behavioural brain research*, 356, 197-203.
- Bueti, D., Walsh, V., Frith, C., & Rees, G. (2008). Different brain circuits underlie motor and perceptual representations of temporal intervals. *Journal of cognitive neuroscience*, 20(2), 204-214.
- Cambraia, R., Bugallo, M., Vasconcelos, M., & Machado, A. (2020). Effects of differential probabilities of reinforcement on human timing. *Behavioural processes*, 177, 104146.
- Durlach, N. & Braida, L. (1969). Intensity perception. I. Preliminary theory of intensity resolution. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 46(2B), 372-383.
- Eriksen, C., & Hake, H. (1957). Anchor effects in absolute judgments. *Journal of experimental psychology*, 53(2), 132.
- Elvevåg, B., Brown, G., McCormack, T., Vousden, J., & Goldberg, T. (2004). Identification of tone duration, line length, and letter position: an experimental approach to timing and working memory deficits in schizophrenia. *Journal of abnormal psychology*, 113(4), 509.
- Ferrandez, A., Hugueville, L., Lehericy, S., Poline, J., Marsault, C., & Pouthas, V. (2003). Basal ganglia and supplementary motor area subtend duration perception: an fMRI study. *Neuroimage*, 19(4), 1532-1544.
- Humphreys, G., Riddoch, M., & Price, C. (1997). Top-down processes in object identification: Evidence from experimental psychology, neuropsychology, and functional anatomy. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 352(1358), 1275-1282.
- Jazayeri, M., & Shadlen, M. N. (2015). A neural mechanism for sensing and reproducing a time interval. *Current Biology*, 25(20), 2599-2609.

- Jiang, X., Bradley, E., Rini, R. A., Zeffiro, T., VanMeter, J., & Riesenhuber, M. (2007). Categorization training results in shape-and category-selective human neural plasticity. *Neuron*, 53(6), 891-903.
- Kéri, S. (2003). The cognitive neuroscience of category learning. *Brain Research Reviews*, 43(1), 85-109.
- König, P., Engel, A. K., & Singer, W. (1996). Integrator or coincidence detector? The role of the cortical neuron revisited. *Trends in neurosciences*, 19(4), 130-137.
- Kopec, C., & Brody, C. D. (2010). Human performance on the temporal bisection task. *Brain and cognition*, 74(3), 262-272.
- Lacouture, Y., Grondin, S., & Mori, S. (2001). Absolute identification of temporal intervals: Preliminary data. In E. Sommerfeld, R. Kompass, & T. Lachmann (Eds.), *Proceedings of the Seventeenth Meeting of the International Society of Psychophysics* (pp. 493–498). Berlin, Germany: Pabst Science Publishers.
- Lindbergh, C., & Kieffaber, P. (2013). The neural correlates of temporal judgments in the duration bisection task. *Neuropsychologia*, 51(2), 191-196.
- McCormack, T., Brown, G., Maylor, E., Richardson, L., & Darby, R. (2002). Effects of aging on absolute identification of duration. *Psychology and Aging*, 17(3), 363.
- Mendez, J., Prado, L., Mendoza, G., & Merchant, H. (2011). Temporal and spatial categorization in human and non-human primates. *Frontiers in Integrative Neuroscience*, 5, 50.
- Mendoza, G. (2018). *Neurofisiología de la categorización de intervalos de tiempo en el área motora presuplementaria del primate* [Tesis de Doctorado, Universidad Nacional Autónoma de México]
- Mendoza, G., Méndez, J., Pérez, O., Prado, L., & Merchant, H. (2018). Neural basis for categorical boundaries in the primate pre-SMA during relative categorization of time intervals. *Nature communications*, 9(1), 1-17.
- Merchant, H., Harrington, D., & Meck, W. (2013). Neural basis of the perception and estimation of time. *Annual Review of Neuroscience*, 36(1), 313-336.
- Merchant, H., Zarco, W., Pérez, O., Prado, L., & Bartolo, R. (2011). Measuring time with different neural chronometers during a synchronization-continuation task. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 108(49), 19784-19789.

- Merrit, D., Casasanto, D., & Brannon, E. (2010). Do monkeys think in metaphors? Representations of space and time in monkeys and humans. *Cognition*, 117, 191-202 (2010).
- Miller, G. (1956). The magical number seven, plus or minus two: Some limits on our capacity for processing information. *Psychological review*, 63(2), 81.
- Moon, J., Fincham, J., Betts, S., & Anderson, J. (2015). End effects and cross-dimensional interference in identification of time and length: Evidence for a common memory mechanism. *Cognitive, Affective, & Behavioral Neuroscience*, 15, 680-695.
- Ng, K., Tobin, S., & Penney, T. (2011). Temporal accumulation and decision processes in the duration bisection task revealed by contingent negative variation. *Frontiers in integrative neuroscience*, 5, 77.
- Nosofsky, R. (1986). Attention, similarity, and the identification–categorization relationship. *Journal of Experimental Psychology: General*, 115(1), 39–57. doi:10.1037/0096-3445.115.1.39
- Nosofsky, R. (1987). Attention and learning processes in the identification and categorization of integral stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*, 13(1), 87.
- Nosofsky, R. (1989). Further tests of an exemplar-similarity approach to relating identification and categorization. *Perception & Psychophysics*, 45(4), 279-290.
- Ortega, L., & López, F. (2008). Effects of visual flicker on subjective time in a temporal bisection task. *Behavioural Processes*, 78(3), 380-386.
- Perkins, D., & Salomon, G. (1992). Transfer of learning. *International encyclopedia of education*, 2, 6452-6457.
- Quillfeldt, J. (2018). Floor and Ceiling Effects. En: Vonk, J., Shackelford, T. (eds) *Encyclopedia of Animal Cognition and Behavior*. Springer, Cham.
- Riesenhuber, M., & Poggio, T. (2002). Neural mechanisms of object recognition. *Current opinion in neurobiology*, 12(2), 162-168.
- Rosch, E. H. (1973). On the internal structure of perceptual and semantic categories. In *Cognitive development and acquisition of language* (pp. 111-144). Academic Press.



- Penney, T.B., Gibbon, J., Meck, W.H. Categorical scaling of duration bisection in pigeons (*Columba livia*), mice (*Mus musculus*), and humans (*Homo sapiens*). *Psychol Sci.* 19, 1103-1109 (2008).
- Perkins, D., & Salomon, G. (1992). Transfer of learning. *International encyclopedia of education*, 2, 6452-6457.
- Pfeuty, M., Ragot, R., & Pouthas, V. (2005). Relationship between CNV and timing of an upcoming event. *Neuroscience letters*, 382(1-2), 106-111.
- Seger, C., & Miller, E. (2010). Category learning in the brain. *Annual review of neuroscience*, 33, 203.
- Siegel, W. (1972). Memory effects in the method of absolute judgment. *Journal of Experimental Psychology*, 94(2), 121.
- Simen, P., Balci, F., deSouza, L., Cohen, J. D., & Holmes, P. (2011). A model of interval timing by neural integration. *Journal of Neuroscience*, 31(25), 9238-9253.
- Stewart, N., Brown, G., & Chater, N. (2005). Absolute identification by relative judgment. *Psychological review*, 112(4), 881.
- Thorndike, E., & Woodworth, R. (1901). The influence of improvement in one mental function upon the efficiency of other functions. (I). *Psychological review*, 8(3), 247.
- Wearden, J. (1991). Human performance on an analogue of an interval bisection task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B*, 43(1b), 59-81.
- Wearden, J. (2016). *The psychology of time perception*. Palgrave Macmillan.

## Anexos

**Tabla 1. Resultados estadísticos de la prueba t de Student de muestras pareadas para comparar el desempeño por intervalo en el entrenamiento en identificación (Condición 1)**

Intervalo	Primer día de entrenamiento (sesión 2)		Último día de entrenamiento (sesión 4)		Estadístico		
	Media	DS	Media	DS	t	gl	p
1	42.5	14.1	54	14.9	3.5	19	<b>0.016</b>
2	24.6	11	35.6	14.2	3.2	19	<b>0.016</b>
3	21.1	8	28.8	12.4	3.1	19	<b>0.015</b>
4	21.3	12	28.1	11.8	2.1	19	0.063
5	19.6	9	20.5	10	0.2	19	0.773
6	19.3	8.4	28.1	12.9	2.9	19	<b>0.018</b>
7	24.8	10.5	31	13.2	2.6	19	<b>0.023</b>
8	34.1	16.5	39.3	13.8	1.4	19	0.182

**Tabla 2. Resultados estadísticos de la prueba t de Student de muestras pareadas para comparar el desempeño por intervalo en la prueba en categorización (Condición 1)**

Intervalo	Primer día de prueba (sesión 1)		Último día de prueba (sesión 5)		Estadístico		
	Media	DS	Media	DS	t	gl	p
1	90.8	11.6	97	4.3	2.6	19	<b>0.031</b>
2	85.5	10.1	94.3	6.1	4.2	19	<b>0.003</b>
3	75.8	10.6	82.5	10.9	2.4	19	<b>0.04</b>
4	58.5	10.3	67.8	10.2	2.9	19	<b>0.03</b>
5	53.6	9	58.1	10.1	1.3	19	0.19
6	68.5	14.3	76	14.8	2.7	19	<b>0.036</b>
7	79	14.2	85.3	11.9	1.9	19	0.068
8	86	12.9	91.5	8.3	2.2	19	0.052

**Tabla 3. Resultados estadísticos de la prueba t de Student de muestras pareadas para comparar la Medida de Sensibilidad (MS) por intervalo en el entrenamiento en identificación (Condición 1)**

Intervalo	Primer día de entrenamiento (sesión 2)		Último día de entrenamiento (sesión 4)		Estadístico		
	Media	DS	Media	DS	t	gl	p
1	0.0028	0.0022	0.005	0.0026	-4	19	<b>0.005</b>
2	0.0015	0.0007	0.0026	0.0018	-2.1	19	0.107
3	0.0012	0.0007	0.0023	0.0018	-2.4	19	0.095
4	0.0018	0.0012	0.0020	0.0013	-0.4	19	0.687
5	0.0013	0.0007	0.0014	0.0010	-0.5	19	0.683
6	0.0018	0.0009	0.0021	0.0010	-1.2	19	0.132
7	0.0018	0.0008	0.0025	0.0016	-2	19	0.106
8	0.0022	0.0019	0.0025	0.0015	-0.7	19	0.644

**Tabla 4. Resultados estadísticos de la prueba t de Student de muestras pareadas para comparar el Error Constante (EC) por intervalo en el entrenamiento en identificación (Condición 1)**

Intervalo	Primer día de entrenamiento (sesión 2)		Último día de entrenamiento (sesión 4)		Estadístico		
	Media	DS	Media	DS	t	gl	p
1	11.5	24.7	12.5	22.6	-0.1	19	0.911
2	15	81	-2.3	57.1	0.8	19	0.673
3	-0.4	81.5	-15.5	62.6	0.6	19	0.677
4	5.3	80.4	-19	49.6	1	19	0.619
5	5.2	74.6	-25.8	49.7	1.7	19	0.369
6	19.4	93.1	-18.9	79	1.8	19	0.661
7	3.5	67.6	-29.5	68.7	1.4	19	0.446
8	-36.9	63.3	-29.1	46.4	-0.4	19	0.736

**Tabla 5. Resultados estadísticos de la prueba t de Student de muestras pareadas para comparar el tiempo de reacción por intervalo en la prueba en categorización (Condición**

**1)**

Intervalo	Primer día de entrenamiento (sesión 2)		Último día de entrenamiento (sesión 4)		Estadístico		
	Media	DS	Media	DS	t	gl	p
1	494.9	85.1	494.7	86.5	0.01	19	0.99
2	518.3	136.7	516.2	97.8	0.08	19	1
3	541.4	111.8	552.3	135.4	-0.3	19	1
4	565.1	123.4	591.6	110	-0.9	19	0.75
5	585.6	168.1	630.2	167.2	-1.2	19	0.91
6	541.1	135.4	579.8	125	-1.4	19	1
7	503.5	90.5	526.3	134.2	-0.9	19	0.88
8	531.3	109.9	526.9	128.4	0.1	19	1

**Tabla 6. Resultados estadísticos de la prueba t de Student de muestras pareadas para comparar el tiempo de reacción por intervalo en el entrenamiento en identificación**

**(Condición 1)**

Intervalo	Primer día de prueba (sesión 1)		Último día de prueba (sesión 5)		Estadístico		
	Media	DS	Media	DS	t	gl	p
1	842.7	262.8	861.2	188.4	-0.3	19	0.93
2	1192	585.6	1142.7	368.9	0.5	19	1
3	1202.9	385.7	1209.7	293.5	-0.09	19	0.92
4	1211.6	463.8	1234.1	268.3	-0.2	19	0.92
5	1293.5	401.3	1334.1	452.8	-0.5	19	1
6	1287.9	420.2	1187	395	1.1	19	1
7	1103.3	402.8	1064.6	310.5	0.4	19	1
8	794.7	191.1	854.9	164.1	-1.5	19	1

**Tabla 7. Resultados estadísticos de la prueba t de Student de muestras pareadas para comparar el desempeño por intervalo en el entrenamiento en categorización (Condición 2)**

Intervalo	Primer día de entrenamiento (sesión 2)		Último día de entrenamiento (sesión 4)		Estadístico		
	Media	DS	Media	DS	t	gl	p
1	95.3	5.7	97.4	3.1	2	17	0.484
2	91.4	6	90.7	7.4	-0.3	17	0.987
3	77.2	15.5	83.7	12.2	1.9	17	0.285
4	58.7	11	61.6	12.2	0.9	17	0.747
5	57.4	11.6	57.7	12.4	0.1	17	1
6	72.4	14	76.4	12.5	1.1	17	0.675
7	84.4	11.2	85.9	11.4	0.6	17	0.887
8	90.1	10	90.3	9.3	0.08	17	0.936

**Tabla 8. Resultados estadísticos de la prueba t de Student de muestras pareadas para comparar el desempeño por intervalo en la prueba en identificación (Condición 2)**

Intervalo	Primer día de prueba (sesión 1)		Último día de prueba (sesión 5)		Estadístico		
	Media	DS	Media	DS	t	gl	p
1	35.5	16.9	49.4	13.9	3.4	17	<b>0.026</b>
2	25.1	8.7	32	13	2.1	17	0.2
3	23.3	10.6	26.4	10.1	1.2	17	0.283
4	20.1	5.6	22.7	15.3	0.6	17	0.521
5	15.7	8.5	19.4	8.9	1.7	17	0.263
6	18.8	8.3	23.3	10.6	1.5	17	0.217
7	24.8	11.4	29.4	14.6	1.1	17	0.293
8	37.4	13.1	45	17.6	1.5	17	0.264

**Tabla 9. Resultados estadísticos de la prueba t de Student de muestras pareadas para comparar el Error Constante (EC) por intervalo en la prueba en identificación (Condición 2)**

Intervalo	Primer día de prueba (sesión 1)		Último día de prueba (sesión 5)		Estadístico		
	Media	DS	Media	DS	t	gl	p
1	27.2	49.2	12.4	28.5	1.1	17	0.432
2	16.5	71.6	-1.2	59.9	0.8	17	0.554
3	10.2	78.4	-12.4	61.3	1.2	17	0.421
4	36.2	86.1	-45	105.7	2.4	17	0.196
5	4	65.6	-29.7	107.5	1.3	17	0.557
6	33.6	50.3	-12.2	88.2	1.7	17	0.376
7	-3.2	73.1	-5.8	58.3	0.1	17	0.879
8	-22.51	53.8	-8.4	23.2	-1	17	0.546

**Tabla 10. Resultados estadísticos de la prueba t de Student de muestras pareadas para comparar la medida de sensibilidad por intervalo en la prueba en identificación (Condición 2)**

Intervalo	Primer día de prueba (sesión 1)		Último día de prueba (sesión 5)		Estadístico		
	Media	DS	Media	DS	t	gl	p
1	0.0025	0.0019	0.0039	0.0026	-2.3	17	0.116
2	0.0014	0.0010	0.0021	0.0015	-1.5	17	0.186
3	0.0018	0.0016	0.0016	0.0010	0.2	17	0.787
4	0.0014	0.0011	0.0018	0.0016	-1	17	0.373
5	0.0008	0.0007	0.0015	0.0010	-2.1	17	0.119
6	0.0013	0.0011	0.0017	0.0010	-1.1	17	0.117
7	0.0013	0.0010	0.0024	0.0013	-2.7	17	0.108
8	0.0021	0.0015	0.0038	0.0026	-2.3	17	0.079

**Tabla 11. Resultados estadísticos de la prueba t de Student de muestras pareadas para comparar el tiempo de reacción por intervalo en el entrenamiento en categorización (Condición 2)**

Intervalo	Primer día de entrenamiento (sesión 2)		Último día de entrenamiento (sesión 4)		Estadístico		
	Media	DS	Media	DS	t	gl	p
1	509.9	75.7	464.2	78.5	2.3	17	0.243
2	561.2	147.5	502.7	133.6	1.4	17	0.254
3	575.8	126.3	518.4	119.8	1.9	17	0.18
4	636.6	163.8	534.7	121.5	2.2	17	0.151
5	622.6	149.9	591.2	143.8	0.7	17	0.592
6	565.2	99.8	543.2	128.6	0.7	17	0.562
7	549.3	110	503.6	100.8	1.5	17	0.256
8	544	119.9	525.7	113.8	0.5	17	0.611

**Tabla 12. Resultados estadísticos de la prueba t de Student de muestras pareadas para comparar el tiempo de reacción por intervalo en la prueba en identificación (Condición 2)**

Intervalo	Primer día de prueba (sesión 1)		Último día de prueba (sesión 5)		Estadístico		
	Media	DS	Media	DS	t	gl	p
1	788	202.8	749.6	166.1	0.6	17	0.594
2	1019	305.8	1090.5	274.4	-0.7	17	0.623
3	1206	469.9	1195.6	299.8	0.1	17	0.92
4	1128.8	305.9	1256.9	329.7	-1.8	17	0.342
5	1064.9	251.1	1316.9	284.1	-3.3	17	<b>0.028</b>
6	1094.5	381.5	1248.3	305.9	-1.7	17	0.276
7	987.8	239.3	1134.3	450.1	-1.2	17	0.455
8	792.5	228.3	829	164.9	-0.7	17	0.711

**Tabla 13. Resultados estadísticos de la prueba t de Student de muestras pareadas para comparar el Error Constante (EC), el Punto de Igualdad Subjetiva (PIS) y el Umbral Relativo (UR) de la curva sigmoidea de todos los participantes en la prueba en**

Parámetro	Primer día de prueba (sesión 1)		Último día de prueba (sesión 5)		Estadístico		
	Media	DS	Media	DS	t	gl	p
EC	1193.6	38.3	1193.8	33.7	-0.01	19	0.98
PIS	1193.6	38.3	1193.8	33.7	-0.01	19	0.98
UR	198.5	116.6	152.7	46.7	2.7	19	0.01

**categorización (Condición 1)**

**Tabla 14. Resultados estadísticos de la prueba t de Student de muestras pareadas para comparar el Error Constante (EC), el Punto de Igualdad Subjetiva (PIS) y el Umbral Relativo (UR) de la curva sigmoidea de todos los participantes en el entrenamiento en**

**categorización (Condición 2)**

Parámetro	Primer día de entrenamiento (sesión 2)		Último día de entrenamiento (sesión 4)		Estadístico		
	Media	DS	Media	DS	t	gl	p
EC	1181.7	40.9	1186.2	42.3	-0.3	17	0.73
PIS	1181.7	40.9	1186.2	42.3	-0.3	17	0.73
UR	138.8	64.4	122	49.6	1.6	17	0.12



### **Consentimiento informado**

Santiago de Querétaro, a \_\_\_\_ de \_\_\_\_ del 2024

**Título del estudio:**

Generalización de la percepción temporal en humanos

**Investigador principal:**

Dr. Germán Mendoza Martínez

**Nombre de los aplicadores:**

Lic. Hugo Rey Andrade Hernandez

#### Introducción

Antes de aceptar su participación en este estudio de investigación, es importante que lea y entienda todo el contenido del presente texto, en el que se describen el objetivo, los beneficios y los riesgos asociados al presente experimento.

1. Objetivo

Estudiar la toma de decisiones basada en información perceptual en sujetos humanos.

2. Descripción del estudio

Estarás sentado(a) frente a un joystick y un monitor de computadora. En el monitor de computadora se presentarán distintos estímulos visuales. Se te pedirá que atiendas a rasgos particulares de dichos estímulos; que hagas un juicio perceptual de ellos y que realices un movimiento que indique tu juicio perceptual. Este último consiste en mover, mediante la manipulación de un joystick, un cursor desplegado en el monitor. Las tareas se aplicarán en 5 sesiones consecutivas, cada sesión con una duración de entre una hora y hora y media.

3. Preparación para el estudio

- a. Descanse entre 6 a 8 horas continuas la noche anterior al estudio.
- b. No haber consumido café ni bebidas estimulantes o con cafeína las 12 horas previas al estudio.
- c. No haber consumido bebidas alcohólicas 48 horas previas al estudio.

4. Posibles riesgos

Durante el estudio es posible sentir tedio (cansancio y/o aburrimiento).

5. Posibles beneficios

El participante recibirá una remuneración económica de hasta \$100.00 MXN al finalizar la quinta sesión.

6. Confidencialidad

Los datos de este estudio se mantendrán en privado. Cualquier manuscrito publicado con relación a este estudio no incluirá la identidad de los(as) participantes.

7. Derechos de los sujetos en estudios de investigación

Yo, \_\_\_\_\_, he leído y comprendido todo lo anterior. El experimentador, Lic. Hugo Rey Andrade Hernandez o Dr. Germán Mendoza Martínez, me ha explicado el estudio y ha contestado todas mis dudas. Asimismo, me han descrito los posibles riesgos y beneficios del estudio y comprendo que puedo abstenerme de participar o retirarme del experimento cuando lo decida sin ninguna penalización.

---

Nombre y firma de aceptación del participante