



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

PROGRAMA DE DOCTORADO EN PSICOLOGÍA ANÁLISIS EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO

**Duración percibida: la interacción de la atención *top-down*
y la información relevante para la tarea**

T E S I S

**QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
DOCTORADO EN PSICOLOGÍA**

PRESENTA:

ALEJANDRA CIRIA FERNÁNDEZ VARELA

TUTOR PRINCIPAL:

**DR. FLORENTE LÓPEZ RODRÍGUEZ
FACULTAD DE PSICOLOGÍA, UNAM**

COMITÉ TUTORAL:

**DR. ARTURO BOUZAS RIAÑO
FACULTAD DE PSICOLOGÍA, UNAM**

**DR. BRUNO LARA GUZMÁN
CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS, UAEM**

**DR. JAVIER NICOLÁS VILA CARRANZA
FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES IZTACALA, UNAM**

**DR. OSCAR VLADIMIR ORDUÑA TRUJILLO
FACULTAD DE PSICOLOGÍA, UNAM**



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.

Agradecimientos

Agradezco a toda mi familia por su apoyo y amor incondicional, por enseñarme a nunca rendirme a pesar de los obstáculos y a siempre dar lo mejor de mí. Gracias mamá por estar conmigo en todo momento, por tu increíble manera de hacerme ver mis aciertos, por tu amorosa comprensión de mis errores y por contagiarme de tu admirable fortaleza ante cualquier circunstancia. Gracias papá por tus sabios consejos, por enseñarme a cuestionar y analizar las cosas desde una perspectiva científica y por fomentar mi pasión hacia la academia y la investigación. A mi hermana, gracias por todo tu cariño, por siempre mostrar disposición para ayudarme, por nunca olvidar demostrarme tu admiración hacia lo que hago y hacerme saber lo orgullosa que estás de mí.

Gracias al amor de mi vida, por saber cómo acompañarme en los buenos y en los malos momentos, por persistentemente confiar en mí y en mis logros buscando la manera en que pueda verlos y admirarlos como tú lo haces. Gracias por siempre hacerme sentir amada y protegida. Gracias por acompañarme durante todos estos años, por todo el aprendizaje, la motivación, y el apoyo que me brindaste. Sin duda, tu compañía hizo que todo este proceso siempre valiera la pena.

Agradezco a todos los integrantes del comité de esta tesis. Al Dr. Florente López, gracias por ser mi tutor, por todas tus enseñanzas, por siempre confiar en mis ideas y en el proyecto, y sobre todo, por tus valiosos y puntuales consejos. Al Dr. Bruno Lara, gracias por todo el apoyo que me brindaste para diseñar y realizar los experimentos, por tus enseñanzas e interés en el proyecto, por siempre brindarme un espacio, por permitirme exponer mis dudas ante el grupo del Laboratorio de Robótica Cognitiva, y por todo el apoyo respecto a la publicación del artículo que resultó del presente trabajo. Al Dr. Arturo Bouzas, gracias por todo tu apoyo, por tus precisos comentarios y consejos durante todo este proceso. Al Dr. Vladimir Orduña y al Dr. Javier Vila, gracias por todas sus valiosas observaciones y comentarios a esta tesis. A la Dra. Natalia Arias-Trejo, aunque no fue miembro del comité, gracias por tus enseñanzas, por motivarme y hacerme sentir que el proyecto de investigación iba por buen camino, por sus consejos objetivos y directos, pero siempre llenos de calidad humana.

Gracias a todos los integrantes del Laboratorio de Robótica Cognitiva de la UAEM, por su amistad, por todos los buenos momentos que pasamos juntos, por siempre estar ahí para apoyarnos y aprender, por hacerme sentir que tengo un lugar en este mundo, ese lugar que le da sentido a todas las horas de vida dedicadas a nuestra pasión por la investigación. En particular, agradezco a Dada y a Alan por su apoyo para la realización de los experimentos de esta tesis. Dada, muchas gracias por tu amistad incondicional, y por acompañarme en todo este proceso. En general, les agradezco a todos, por confiar en mí y por permitirme aprender y crecer con ustedes; mucho de lo que he llegado a cuestionar apasionadamente ha sido en su compañía.

Agradezco a todos los miembros del IBt que participaron en el experimento. Al Dr. Octavio Tonatiuh Ramírez, al Dr. Enrique Rudiño y al Dr. Enrique Reynaud, gracias por ayudarme a que fuera posible aplicar el experimento en las instalaciones del IBt y cumpliendo los principios éticos correspondientes. Gracias a mi papá por contactarme con ellos y por hacer que todo esto fuera posible.

Gracias a todos mis amigos; ustedes son la familia que he elegido. Les agradezco todos los buenos momentos que hemos pasado juntos y su invaluable cariño. Finalmente, gracias Coru, por acompañarme siempre, incluso durante cada palabra escrita en esta tesis.

Índice

Resumen

Introducción.....	1
1. Efecto <i>Oddball</i> Temporal (EOT).....	9
1.1. Métodos de medición del EOT.....	14
1.2. Magnitud del EOT.....	18
2. Hipótesis explicativas del EOT.....	21
2.1. Hipótesis basadas en el reloj interno.....	22
2.2. Hipótesis de la eficiencia de codificación.....	26
2.3. Investigaciones recientes: giro explicativo.....	33
2.4. Hipótesis sobre la atención <i>top-down</i>	37
3. Experimento 1.....	42
3.1. Método.....	43
3.2. Resultados.....	52
3.3. Discusión.....	61
4. Experimento 2.....	63
4.1. Método.....	63
4.2. Resultados.....	64
4.3. Discusión.....	72
5. Propiedades escalares del tiempo.....	74
6. Discusión general.....	76
7. Conclusiones.....	93
Referencias.....	95

Resumen

La percepción del tiempo es susceptible a distorsiones. Se ha sugerido que las expectativas de los observadores hacia las características físicas de un estímulo afectan su duración percibida. En un arreglo de estímulos, la duración de un estímulo inesperado (*oddball*) se percibe como relativamente más larga, al ser presentado dentro de una serie de estímulos estándar repetitivos. A este fenómeno se le ha llamado efecto *oddball* temporal (EOT). Se ha observado que la magnitud del EOT incrementa al aumentar el número de repeticiones del estímulo estándar previas a la presentación del estímulo *oddball*, así como al incrementar la saliencia del estímulo *oddball* en términos de cuánto difiere en sus características físicas al estímulo estándar. La mayoría de las explicaciones teóricas, comparten el supuesto que la duración del estímulo *oddball* se sobreestima debido a que sus características físicas son inesperadas y los estímulos estándar repetitivos se perciben como de menor duración debido a que son esperados. No obstante, evidencia empírica reciente sugiere que el EOT no ocurre debido a que los estímulos *oddball* sean inesperados, sino a que la atención *top-down* se dirige hacia el estímulo para procesar la información perceptual relevante para la tarea (estímulo meta). Sin embargo, cómo las expectativas hacia las características de un estímulo meta, así como su saliencia, afectan la duración percibida continúa siendo una pregunta abierta. En la presente investigación se manipularon ortogonalmente los factores que se conoce que afectan las expectativas y la saliencia de las características físicas de los estímulos meta, los cuales se presentaron en una escala temporal corta (Experimento 1) y larga (Experimento 2). Cuatro repeticiones del estímulo estándar se presentaron sucesivamente antes de la presentación del estímulo meta, el cual, podía ser esperado, inesperado, así como más o menos saliente en sus características físicas. En las cuatro condiciones experimentales los participantes juzgaron si el estímulo meta era más corto o más largo en duración que los estímulos estándar. Los resultados indicaron que el estímulo meta se sobreestimó en duración, en la misma medida, sin importar si éste era esperado o inesperado en sus características físicas. La pequeña pero significativa contribución adicional de la saliencia fue dependiente de la escala temporal de la presentación de los estímulos junto con las características esperadas o inesperadas del estímulo meta. Estos resultados apuntan a la atención *top-down* como el principal mecanismo cognitivo subyacente a la extracción y el procesamiento de información relevante para la tarea, la cual parece estar estrechamente correlacionada con la duración percibida. La atención *top-down* dirigida a los estímulos meta, junto con las características salientes esperadas e inesperadas procesadas dentro de una escala temporal específica, parecen ser los factores principales que explican la ocurrencia y la magnitud del EOT. En conjunto estos factores determinan la cantidad y la velocidad de información perceptual que es procesada. Finalmente, se observaron las propiedades escalares de la percepción temporal. Las fracciones de Weber permanecieron constantes en ambos experimentos y se observó una buena superposición de las funciones de las respuestas de proporción de juicios ‘más largo’ al utilizar una escala relativa de duración. Desde un punto mecanicista, los resultados favorecen a la teoría del reloj interno y se sugiere que el marcapasos se acelera cuando la atención *top-down* se dirige al procesamiento de información perceptual relevante para la tarea.

Palabras clave: duración percibida, efecto *oddball* temporal, atención *top-down*, información relevante para la tarea, expectativas, saliencia.

Introducción

La percepción del tiempo refiere tanto a nuestra experiencia subjetiva del paso del tiempo como a la sensación de cuánto tiempo ha transcurrido entre dos eventos sucesivos, o a la duración percibida de un evento (Buonomano, 2017; Fraisse, 1984). A pesar de que la percepción del tiempo es crucial para la sobrevivencia y la realización de nuestras actividades diarias es propensa a distorsiones subjetivas. Entre otros factores, las características físicas de un estímulo provocan distorsiones en la percepción del tiempo objetivo (para una revisión, ver Eagleman, 2008). A la vez, se ha reportado que cuando las expectativas de un observador respecto a las características físicas de un estímulo se cumplen, la duración percibida *se reduce* (Birngruber, Schröter, y Ulrich, 2015a; Matthews, 2011; Pariyadath y Eagleman, 2007, 2012; Schindel, Rowlands y Arnold, 2011; Tse, Intrillator, Rivest, y Cavanagh, 2004; Ulrich, Nitschke, y Rammsayer, 2006), *no se reduce* (Cai, Eagleman y Ma, 2015; Lin y Shimojo, 2017; van Wassenhove, Buonomano, Shimojo, y Shams, 2008), *o se incrementa* (Birngruber, Schröter, Schütt, y Ulrich, 2018; Matthews, 2015; Matthews y Gheorghiu, 2016; Matthews y Meck, 2016; Schweitzer, Trapp, y Bar, 2017; Skylark y Gheorghiu, 2017). Estos resultados contradictorios manifiestan que todavía no es claro cómo las expectativas afectan la duración percibida. El interés particular de la presente investigación, es responder a la pregunta sobre cómo las expectativas de un observador respecto a las características físicas de un estímulo afectan la duración percibida.

En torno al objetivo del presente trabajo, es importante definir y distinguir los conceptos básicos que describen las expectativas a corto y a largo plazo. Bubic, von Cramon, y Schubotz (2010) plantean que las expectativas a corto plazo implican un

proceso de anticipación perceptual o motora de la ocurrencia de un evento. Esta anticipación se relaciona con la observación de un elevado nivel de procesamiento en áreas sensoriales o motoras que ocurre antes de un evento, facilitando el procesamiento del evento esperado (LaBerge, 1995). A la representación del estímulo esperado se le denomina expectativa. Las expectativas a corto plazo pueden generarse mediante la repetición de un estímulo, el aprendizaje de la relación o las regularidades entre los estímulos, el incremento de la probabilidad de ocurrencia de un estímulo, la presentación de estímulos secuenciales o estímulos contextualmente asociados, entre otros. Las expectativas a largo plazo implican un proceso de prospección, en el cual se formulan expectativas respecto a la ocurrencia de un posible evento que ocurrirá a largo plazo. Por ejemplo, cuando un participante prevé que recibirá una compensación económica al terminar un experimento. La presente investigación, se limitó a investigar los efectos de las expectativas de corto plazo en la duración percibida.

Los efectos de las expectativas en la duración percibida están estrechamente relacionados con la investigación sobre los efectos de la repetición de un estímulo. Se ha observado que el primer estímulo de una serie de estímulos repetitivos se percibe de mayor duración que los estímulos subsecuentes que tienen la misma duración objetiva (Pariyadath y Eagleman, 2007; Rose y Summers, 1995). Los efectos de la repetición de un estímulo están estrechamente relacionados con la tarea *oddball* temporal, la cual ha sido ampliamente utilizada para estudiar los efectos de las expectativas en la duración percibida. La naturaleza de la tarea *oddball* temporal permite manipular las expectativas de los observadores con relación a las características físicas de los estímulos debido a que se presenta repetidamente un estímulo estándar de duración constante y en una posición

aleatoria de la secuencia se presenta un estímulo diferente al estándar (*oddball*) de duración variable. La tarea de los participantes es juzgar si la duración del estímulo *oddball* es “más corta” o “más larga” que la duración estándar. A los estímulos *oddball* también se les denomina como estímulos ‘meta’ debido a que son los estímulos relevantes para la tarea al ser juzgados en duración en comparación con los estímulos estándar. Consistentemente, se ha reportado una sobreestimación de la duración del estímulo meta al ser comparada con la duración de los estímulos estándar repetitivos (Birngruber, Schröter, y Ulrich, 2014; Pariyadath y Eagleman, 2007, 2012; Schindel et al., 2011; Tse et al., 2004). A este fenómeno se le ha llamado “expansión subjetiva del tiempo” (Tse et al., 2004), “cronostasis por *oddball*” (Lin y Shimojo, 2017), o “Efecto *Oddball* Temporal” (EOT; ej., Birngruber et al., 2014; Birngruber et al., 2018; Matthews y Gheorghiu, 2016; Pariyadath y Eagleman, 2007, 2012; Schindel et al., 2011).

Se ha observado al manipular distintos arreglos de estímulos, que el tamaño del EOT incrementa al aumentar el número de repeticiones del estímulo estándar antes de la presentación del estímulo meta (Lin y Shimojo, 2017; Pariyadath y Eagleman, 2012). A la vez, el EOT es más pronunciado al incrementar la diferencia entre las características físicas del estímulo meta y el estímulo estándar. En la literatura del EOT a esta diferencia entre los estímulos se le denomina saliencia (Lin y Shimojo, 2017; Tse et al., 2004; van Wassenhove et al., 2008), o magnitud de la discrepancia en términos del error predictivo (Pariyadath y Eagleman, 2012; Schindel et al., 2011).

Los efectos de las expectativas en la duración percibida se han relacionado con la tasa de procesamiento de información perceptual de un estímulo. En general, se ha propuesto que los estímulos estándar, al repetirse, se perciben como de menor duración

porque sus características físicas se vuelven esperadas y los estímulos meta se perciben como de mayor duración debido a que sus características físicas son inesperadas (Tse et al., 2004; Ulrich et al., 2006; Pariyadath y Eagleman, 2007, 2012; Schindel et al., 2011). Por lo tanto, un estímulo esperado se subestima en duración debido a que la anticipación de las características del estímulo reduce la cantidad de información perceptual que se tiene que procesar. En cambio, un estímulo inesperado se sobreestima en duración debido a que se requieren más recursos de procesamiento para extraer la información perceptual del estímulo.

Para poner a prueba lo que se había sugerido respecto a la ocurrencia del EOT, recientes investigaciones consideraron necesario manipular aquellos factores que facilitan la generación de expectativas sobre las características físicas de un estímulo meta para conocer si su duración percibida realmente disminuía. Para cumplir con el objetivo, estas investigaciones manipularon distintas configuraciones de secuencias de estímulos estándar y estímulos meta. Contrario a lo que se había sugerido respecto a la ocurrencia del EOT, estas investigaciones observaron que la generación de expectativas sobre las características físicas de un estímulo meta incrementan su duración percibida (Birngruber et al., 2018; Matthews, 2015; Schweitzer et al., 2017; Skylark y Gheorghiu, 2017).

Por otra parte, se ha reportado evidencia contradictoria respecto a los efectos en la duración percibida de la saliencia de los estímulos meta cuando éstas características físicas son esperadas o inesperadas por los observadores. Por ejemplo, se ha observado que cuando las características de los estímulos meta son esperados por los observadores, la saliencia es un factor determinante para modular la magnitud del EOT (van Wassenhove et al., 2008). Sin embargo, cuando las características de los estímulos meta son inesperados

por los observadores, estímulos más o menos salientes no provocan diferencias significativas en la magnitud del EOT (Pariyadath y Eagleman, 2007; Schindel et al., 2011). Estas investigaciones, a pesar de sus marcadas diferencias metodológicas, comparten el uso de una escala temporal corta de presentación de los estímulos (500 ms). Posiblemente, los estímulos meta salientes e inesperados no tienen un impacto en el EOT debido a que tienen una desventaja temporal de procesamiento en comparación con los estímulos meta salientes y esperados. Los mecanismos atencionales vía *top-down* habilitan la anticipación de las formas específicas de las características esperadas de un estímulo facilitando su procesamiento subsecuente (Ansorge, Horstmann, y Scharlau, 2010). En cambio, el procesamiento de las características del estímulo mediante procesos atencionales *bottom-up* sucede en una etapa posterior del procesamiento perceptual, requiriendo que los estímulos se presenten por más tiempo (Ansorge et al., 2010).

Para encontrar una explicación a la ocurrencia del EOT, Lin y Shimojo (2017) realizaron varios experimentos sistemáticos manipulando diferentes secuencias de estímulos estándar, los cuales podían ser repetidos, ordenados o aleatorios. El EOT se presentó en todas las condiciones experimentales, sin importar el tipo de secuencia de estímulos estándar presentados previos a la aparición del estímulo meta. Por lo tanto, Lin y Shimojo (2017) sugieren que dirigir la atención *top-down* hacia un estímulo meta, sin importar si es esperado o inesperado en sus características físicas, es una condición necesaria para la ocurrencia del EOT. Respecto a la saliencia de los estímulos meta, Lin y Shimojo (2017) observaron que la magnitud del EOT fue significativamente mayor en la condición de secuencias repetidas, al compararlo con las condiciones de secuencias ordenadas y aleatorias. La saliencia del estímulo meta, al ser el único estímulo diferente en

sus características físicas en de la secuencia de estímulos estándar repetidos, fue un factor adicional que contribuyó a la modulación de la magnitud del EOT. Por lo tanto, la sobreestimación del estímulo meta ocurre, debido a que es el estímulo relevante para la tarea, lo cual no está relacionado con las expectativas del observador sobre sus características físicas, sino con que la atención es dirigida hacia el estímulo meta vía *top-down* en respuesta a los requerimientos de la tarea. La saliencia de los estímulos meta facilita dirigir la atención *top-down* para su procesamiento, la cual incrementa en mayor medida el EOT.

La investigación de Lin y Shimojo (2017) aporta valiosas contribuciones empíricas para iniciar a generar conclusiones respecto a la ocurrencia del EOT. Sin embargo, aún no queda claro por qué, como se mencionó anteriormente, se ha reportado por qué la generación de expectativas sobre las características físicas de un estímulo meta incrementan su duración percibida (Birngruber et al., 2018; Matthews, 2015; Schweitzer et al., 2017; Skylark y Gheorghiu, 2017). Además, aunque Lin y Shimojo (2017) observaron que, al utilizar la secuencia de estímulos estándar repetidos, la saliencia de los estímulos meta incrementan en mayor medida la magnitud del EOT, aún no se resuelve la controversia sobre los efectos en la duración percibida de las características físicas más o menos salientes de un estímulo meta cuando éstas son esperadas o inesperadas por los observadores.

El objetivo de la presente investigación fue conocer cómo las expectativas hacia las características de un estímulo meta, así como su saliencia, afectan la duración percibida. En este sentido se abordaron las siguientes preguntas empíricas. Primero, ¿en qué medida difiere la magnitud del EOT provocado por estímulos meta cuando éstos son esperados e

inesperados por los observadores? Si el factor subyacente a la ocurrencia del EOT es la atención *top-down*, éste debe ocurrir sin importar si las características físicas del estímulo meta son esperadas o inesperadas. Segundo, ¿las características salientes de un estímulo meta afectan el EOT de manera diferente cuando éstas son esperadas o inesperadas? Si la saliencia de un estímulo meta es un factor adicional que contribuye al EOT, las características salientes del estímulo meta deben modular la magnitud del EOT. Sin embargo, las características salientes e inesperadas de un estímulo meta podrían tener una desventaja en el tiempo de procesamiento requerido para extraer la información perceptual y ejercer su influencia en la duración percibida en comparación con los estímulos meta esperados y salientes. Por lo tanto, si la duración percibida de un estímulo está correlacionada con la cantidad de información perceptual procesada, ¿en qué medida la sobreestimación de la duración de un estímulo meta influenciada por las expectativas y la saliencia es dependiente de la escala temporal de presentación de los estímulos?

Tomando en cuenta que la atención *top-down* es inherente en el procesamiento de los estímulos meta, para resolver las preguntas de la presente investigación, en lugar de manipular las secuencias de estímulos estándar (Lin y Shimojo, 2017), se manipularon los factores que se conocen que afectan las expectativas y la saliencia de las características de los estímulos meta. Esta manipulación fue diseñada para analizar la relativa contribución en la modulación de la magnitud del EOT de las expectativas y de la saliencia de los estímulos relevantes para la tarea. Al considerar los resultados de la investigación de Lin y Shimojo (2017), en todas las condiciones experimentales se utilizó el tipo de secuencia de estímulos estándar repetidos. Es decir, todos los estímulos estándar se repetían previo a la presentación del estímulo meta. Dependiendo de la condición experimental, las

características físicas de los estímulos meta eran esperadas o inesperadas, y más o menos salientes en comparación con las características de los estímulos estándar. El estímulo meta se presentó en una posición ordinal fija en la serie debido a que la manipulación de las expectativas se centró sólo en las características físicas de los estímulos meta y no en su posición ordinal en la serie. La tarea de los participantes consistió en juzgar la duración del estímulo meta como más “larga” o más “corta” que la duración constante de los estímulos estándar.

En el Experimento1, se manipularon ortogonalmente los factores que se conoce que afectan las expectativas y la saliencia de las características físicas de los estímulos meta utilizando una escala temporal corta de presentación de los estímulos (500 ms). En el Experimento 2, se replicó el Experimento 1 pero utilizando una escala temporal larga (1000 ms). Los resultados indicaron que los estímulos meta se sobreestimaron en duración, en la misma medida, sin importar si las características físicas eran esperadas o inesperadas. Se observó una pequeña, pero significativa contribución de la saliencia para modular la magnitud del EOT, la cual fue dependiente de la escala temporal de presentación de los estímulos y de si los estímulos meta eran esperados o inesperados. A la vez, se observaron las propiedades temporales escalares, las cuales favorecen a la teoría del reloj interno como el mecanismo subyacente responsable de la realización de los juicios sobre la duración percibida de los estímulos. La presente investigación sugiere que el reloj interno se acelera cuando la atención *top-down* se dirige al procesamiento de la información perceptual que es relevante para la tarea. En este sentido, la duración percibida de un estímulo meta posiblemente dependa de la velocidad y de la cantidad de información perceptual que es procesada en un intervalo específico.

1. Efecto *Oddball* Temporal

La clásica tarea *oddball* temporal implica presentar un estímulo *oddball* (estímulo inesperado de duración variable) en una posición aleatoria dentro una secuencia de estímulos estándar (estímulos repetitivos de duración constante). Mediante este procedimiento, se ha observado un incremento en la duración percibida del estímulo *oddball*. Este fenómeno de la expansión subjetiva del tiempo (Tse et al., 2004), o dilatación temporal (New y Scholl, 2009; van Wassenhove, Buonomano, Shimojo, y Shams, 2008) de los estímulos *oddball*, se ha llamado efecto *oddball* temporal (EOT) (también suele ser llamado efecto *oddball*; Pariyadath y Eagleman, 2007; Schindel et al., 2011). Esta distorsión temporal, también puede ser interpretada como una contracción de la duración percibida de los estímulos estándar, en lugar de un incremento en la duración percibida de los estímulos *oddball* (Eagleman y Pariyadath, 2009).

La clásica tarea *oddball* temporal, tiene sus orígenes en el clásico paradigma *oddball*. Éste ha sido ampliamente utilizado en neurociencias para estudiar procesos atencionales y predictivos (mediante el registro de respuestas electrofisiológicas) (Schröger, Kotz y SanMiguel, 2015). En el paradigma *oddball*, los participantes tienen que detectar estímulos poco frecuentes (*oddball*) insertados aleatoriamente en una serie de estímulos estándar frecuentes (Courchesne, Hillyard y Galambos, 1975). Los estímulos *oddball* difieren del estímulo estándar en sus características físicas. La tarea de los participantes consiste en dar una respuesta motora (ej. presionar un botón) cada vez que los estímulos *oddball* ocurran, o contarlos en silencio para determinar el total de presentaciones.

En algunas investigaciones del paradigma *oddball* utilizado en neurociencias, se suelen introducir estímulos distractores, igualmente poco frecuentes pero irrelevantes para la tarea. Estos estímulos permiten manipular la orientación de la atención usando diferentes categorías de estímulos como: nuevos (Courchesne et al., 1975), emocionalmente salientes (Fichtenholtz, Dean, Dillon, Yamasaki, McCarthy y LaBar, 2004), entre otros. En general, se ha observado un incremento de la respuesta neuronal ante los estímulos *oddball*. Por ejemplo, se han observado respuestas P3 de mayor latencia, relacionadas con un mecanismo involuntario de orientación de la atención hacia estímulos poco frecuentes, a los cuales se les considera inesperados. Se ha sugerido que la orientación de la atención hacia un estímulo inesperado, ejemplifica la interrelación entre procesos atencionales y predictivos (Schröger et al., 2015). A la vez, se han reportado respuestas de latencia corta como el potencial de discrepancia MNN (*Mismatch Negativity*), que suele presentarse debido a una violación de una regularidad esperada mediante la extracción de reglas del entorno.

De la misma forma que en el paradigma *oddball* utilizado en neurociencias, en la tarea *oddball* temporal los estímulos *oddball* difieren del estímulo estándar en sus características físicas. Sin embargo, la particularidad central de la tarea *oddball* temporal consiste en presentar los estímulos estándar con una duración objetiva constante y variar la duración del estímulo *oddball* en los ensayos. Por lo tanto, el objetivo de la tarea es medir la distorsión temporal que provoca un estímulo *oddball* al ser presentado dentro de una serie de estímulos estándar repetitivos. La tarea *oddball* temporal ha sido ampliamente utilizada para estudiar el efecto de las expectativas sobre la duración percibida. Es importante mencionar, que en la tarea *oddball* temporal, se han utilizado tanto estímulos

visuales como estímulos auditivos. Sin embargo, debido a que la presente investigación se enfocó en los efectos de las expectativas hacia las características físicas de estímulos visuales en la duración percibida, se revisaron, principalmente, las investigaciones que han explorado el EOT en la modalidad visual.

La clásica tarea *oddball* temporal implica presentar un estímulo *oddball* de duración variable en una posición ordinal aleatoria dentro una secuencia de estímulos estándar de duración constante (Figura 1a; ej. Birngruber et al., 2014; Pariyadath y Eagleman, 2007, 2012; Schindel et al., 2011; Tse et al., 2004). Sin embargo, existen variantes de la tarea *oddball* temporal. Por ejemplo, el estímulo *oddball* se presenta en una posición ordinal fija en la secuencia de estímulos estándar (Figura 1b; ej. Cai et al., 2015; Herai y Mogi, 2010; van Wassenhove et al., 2008). A la vez, se suele utilizar la tarea comparativa, en la que sólo se presenta un estímulo estándar previo al estímulo a comparar, ya sea un estímulo *oddball* o un estímulo idéntico en sus características físicas al estándar pero de duración variable (Figura 1c; ej. Matthews, 2011; 2015; Ulrich et al., 2006). Esta tarea suele usarse para comparar los efectos en la duración percibida de la repetición inmediata de un estímulo o de un estímulo con características físicas diferentes al estándar. Finalmente, tanto en la clásica tarea *oddball* temporal, así como en sus variantes, el intervalo entre estímulos (IEE) puede ser variable o fijo. Generalmente, en la literatura del EOT el IEE es variable pero su duración suele estar en un rango de 300ms.

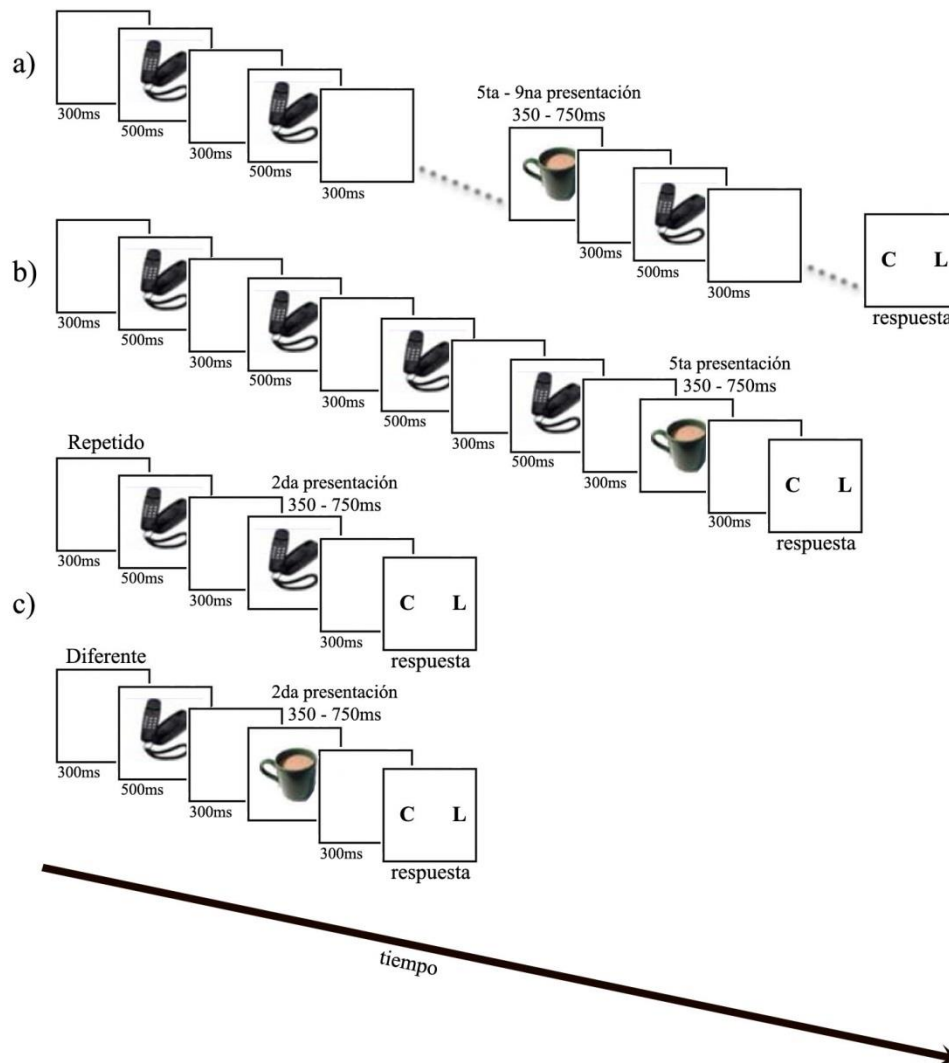


Figura 1. Representación de un ensayo de la clásica tarea *oddball* temporal y algunas de sus variantes. En cada tipo de tarea, al final de cada ensayo el participante responde si considera que la duración del estímulo fue “más corta” (C) o “más larga” (L) que la duración estándar. En estos tres ejemplos se presenta un IEE fijo para todas las tareas. **a)** Estructura de la presentación de los estímulos en la clásica tarea *oddball* temporal. Serie de estímulos estándar y un estímulo meta dentro de la secuencia que en este ejemplo se presenta de manera aleatoria entre la 5ta y 9na posición de la serie. Pueden o no presentarse más estímulos estándar después del estímulo meta. **b)** Variante de la tarea, en donde el estímulo meta se presenta de manera fija en la serie. Generalmente, el

estímulo meta se presenta en la 5ta y última posición de la serie. **c)** Tarea comparativa, en la que sólo se presenta un estímulo estándar antes del segundo estímulo meta.

Como se señaló, la tarea *oddball* temporal y sus variantes, permiten estudiar el efecto de las expectativas de los observadores respecto al estímulo *oddball* sobre la duración percibida. En particular, se investigan los efectos de la repetición de estímulos y de la presentación de estímulos *oddball* con características diferentes al estímulo estándar. Sin embargo, es importante mencionar que en la literatura sobre el EOT, a los estímulos *oddball* se les define indistintamente como estímulos nuevos (cuando no se repiten), estímulos raros (infrecuentes), o estímulos inesperados. Por lo tanto, es conveniente llamar a los estímulos *oddball* como ‘estímulos meta’ debido a que son los estímulos relevantes para la tarea (Lin y Shimojo, 2017). De esta forma, se evita cualquier confusión sobre el concepto debido a que los estímulos *oddball* no siempre son inesperados en su posición ordinal en la serie (ej. Cai et al., 2015), ni en sus características físicas (ej. van Wassenhove et al., 2008). Sin embargo, siempre son los estímulos relevantes para la tarea. En este sentido, en la tarea *oddball* temporal y sus variantes, los participantes siempre realizan un juicio perceptual respecto a la duración de los ‘estímulos meta’ en comparación con la duración estándar, para después dar una respuesta conductual sobre su decisión. Por estos motivos, en la presente investigación, de aquí en adelante a los estímulos *oddball* se les referirá como ‘estímulos meta’. Sin embargo, para mantener la congruencia con el nombre del fenómeno de estudio, se le continuará refiriendo como Efecto *Oddball* Temporal.

1.1. Métodos de evaluación del EOT

El método más común para evaluar esta distorsión temporal, está basado en la tarea de categorización de juicio comparativo (ej. Tse et al, 2004; Ulrich et al., 2006; Pariyadath y Eagleman, 2007; 2012; Schindel et al., 2011). La tarea de juicio comparativo, implica juzgar la duración del estímulo meta como “más corta” o “más larga” en relación a la duración constante del estímulo estándar. Por lo tanto, la tarea consiste en hacer un juicio comparativo entre la duración del estímulo meta y la duración constante de los estímulos estándar durante varios ensayos (Figura 2a). Para calcular la distorsión temporal, es necesario realizar varios juicios comparativos del estímulo meta, que se presenta con diferentes duraciones, las cuales generalmente, se distribuyen de manera simétrica alrededor de la duración del estímulo estándar. Este procedimiento psicofísico permite calcular el punto de igualdad subjetiva (PIS). El PIS es el valor del estímulo que se compara, cuando se juzga como igual al estímulo estándar (Gescheider, 1997). Para encontrar el PIS de las respuestas de cada participante, se grafica una función psicométrica con todos los juicios comparativos entre las distintas duraciones que se presentaron durante los ensayos (Figura 2b). Al graficar los datos, es posible observar que la magnitud de la distorsión temporal depende del PIS en relación al estímulo estándar.

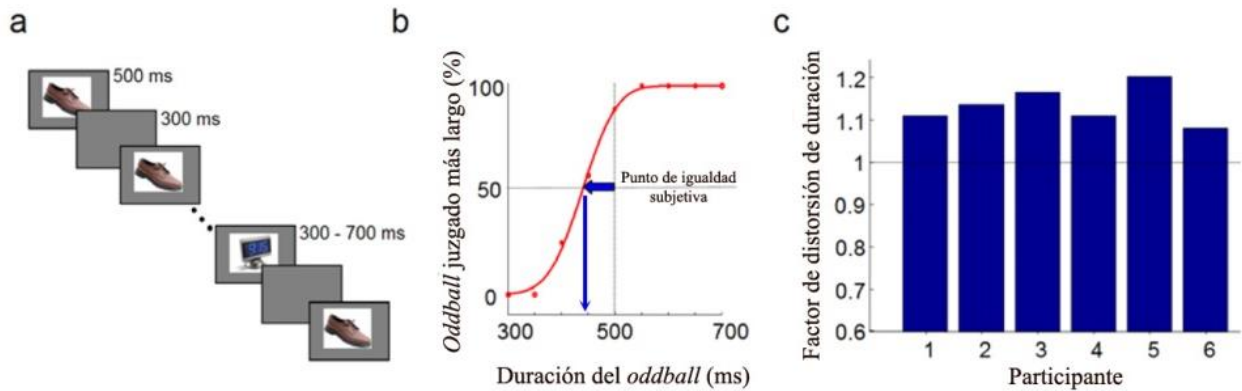


Figura 2. Tarea *oddball* temporal usando imágenes de objetos cotidianos (imagen tomada de Pariyadath y Eagleman, 2007; Figura 1, p. 2 -traducida al español-). **a.** Representación esquemática de un ensayo del experimento. Los participantes reportaron si la duración del estímulo meta (despertador) la percibían como “más larga” o “más corta” que los estímulos estándar repetitivos (zapato). Cada participante realizó 84 ensayos. En cada ensayo se presentaron nueve repeticiones del estímulo estándar y el estímulo meta se presentaba de forma aleatoria, entre la 5ta y 8va posición de la serie. **b.** Datos representativos de un participante. El PIS se tomó como el 50% de la función psicométrica. **c.** El factor de distorsión de duración (EOT) de cada uno de los 6 participantes.

Para calcular el EOT se suele dividir la duración objetiva del estímulo estándar entre el PIS. Valores mayores a 1 refieren a la sobreestimación del estímulo meta y por lo tanto, a la ocurrencia del EOT. Mientras mayor sea este valor, mayor es la magnitud de la distorsión temporal (Figura 2c). A los valores obtenidos mediante este procedimiento se les denomina como el nivel de ‘factor de distorsión de la duración’ (Pariyadath y Eagleman, 2007, 2012), o ‘factor de expansión temporal’ (Tse et al., 2004). A la vez, a la medida de distorsión temporal también se le ha llamado como ‘error constante’ (CE; Matthews, 2015; Ulrich et al. 2006). Sin embargo, Cai et al. (2015) propusieron otro procedimiento para conocer la magnitud del EOT mediante el cálculo del porcentaje de la distorsión temporal, llamado ‘distorsión relativa de la duración’ (DRD). La DRD es una medida del EOT, que a

diferencia del factor de distorsión de duración, al ser una medida directa del porcentaje de la distorsión temporal es más informativa para el lector respecto a la magnitud del EOT.

La tarea de categorización de juicio comparativo es la más utilizada para estudiar el EOT. Por lo tanto, Birngruber et al. (2014) se preguntaron si el EOT ocurría debido a un genuino fenómeno perceptual o si surgía por un sesgo decisional. Este cuestionamiento nace gracias a la investigación realizada por Matthews y Dylman (2014), en la que se reporta que en distintas tareas de categorización de juicio comparativo, cuando existe incertidumbre, los participantes tienden a sesgar sus respuestas eligiendo las de mayor magnitud (“más largo” en lugar de “más corto”). Por lo tanto, si existe una preferencia general por las respuestas de mayor magnitud, esto podría explicar la ocurrencia del EOT al utilizar la tarea de categorización de juicio comparativo. Para resolver la pregunta, Birngruber et al. (2014) utilizaron, tanto la tarea de categorización de juicio comparativo, como la tarea de juicio de igualdad. En la tarea de juicio de igualdad, los participantes, en lugar de decidir si la duración del estímulo meta la perciben como “más larga” o “más corta”, tienen que decidir si la perciben como “igual” o “diferente” a la duración del estímulo estándar. De esta forma, si el EOT se debe a un fenómeno perceptual, se debería presentar sin importar qué tarea se utilice. Los datos de Birngruber et al. (2014), son consistentes con la idea de que el EOT ocurre debido a un genuino fenómeno perceptual y no se debe a un sesgo de decisión. Los resultados indican que en ambos tipos de tareas el EOT se presentó (Figura 3).

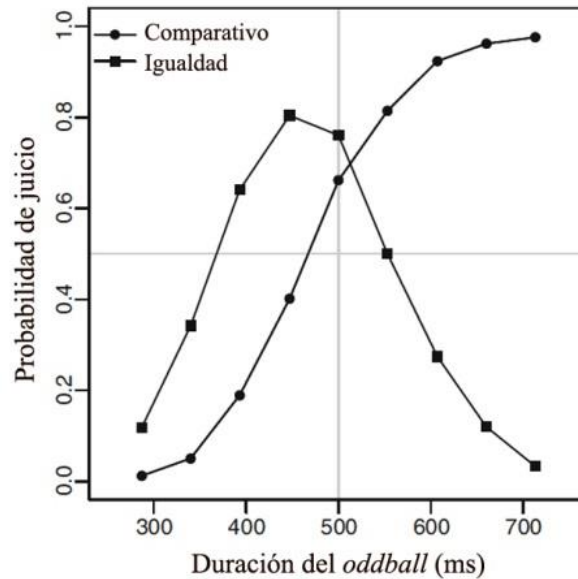


Figura 3. Frecuencias relativas de juicios de duración “más larga” en la tarea de juicio comparativo (círculos) y de juicios “igual” en la tarea de juicio de igualdad (cuadrados), en función de la duración del estímulo meta (gráfica obtenida de Birngruber et al. 2014; Figura 2, p. 819 -traducida al español-).

Sumado a lo anterior, se han utilizado otro tipo de tareas temporales para estudiar el EOT. Por ejemplo, Tse et al. (2004), entre otras tareas, utilizaron el método del único estímulo y la tarea de reproducción. En el método del único estímulo, se les pidió a los participantes que juzgaran si la duración del estímulo meta duró “más” o “menos” que el promedio de la duración de los estímulos estándar previos. En la tarea de reproducción, los participantes tenían que presionar un botón de respuesta para reproducir la duración del estímulo meta. Por otra parte, Matthews (2011), utilizó la tarea de juicio de duración y la tarea de producción. En la tarea de juicio de duración, los participantes tenían que elegir la duración percibida del estímulo meta dentro de una lista de 6 posibles duraciones. En la tarea de producción, el tiempo de presentación del estímulo meta dependía de los participantes al tener que presionar un botón hasta que consideraran que se presentaba con

la misma duración que la estándar. Estas investigaciones indican que el EOT es un fenómeno perceptual robusto que se presenta utilizando diversas tareas temporales.

Por otra parte, en las investigaciones sobre el EOT, no sólo se ha medido el efecto de las características físicas de los estímulos meta en la duración percibida. Algunas de éstas, también han estudiado los efectos en la sensibilidad en la discriminación temporal. La sensibilidad en la discriminación temporal tiene importancia teórica para comprender los mecanismos subyacentes al EOT (para una discusión sobre el tema ver Ulrich et al., 2006). La medida para conocer la sensibilidad en la discriminación temporal es el Umbral Diferencial (UD). El UD se define como la mínima cantidad de cambio en el estímulo que es necesaria para discriminar un cambio en la sensación (Gescheider, 1997). El UD también suele ser llamado *Differenz Limen* (DL, término en alemán), o la diferencia apenas notable (JND, por sus siglas en inglés *Just Noticeable Difference*). Cuanto menor sea el valor del UD indica un incremento en la sensibilidad en la discriminación temporal. Por lo tanto, mientras mayor sea el valor del UD la sensibilidad en la discriminación temporal es más pobre.

1.2. Magnitud del EOT

En la presente investigación cuando se habla sobre la magnitud del EOT, o respecto a las diferencias en su magnitud, se están considerando valores de la DRD. Como se mencionó anteriormente, la DRD es una medida directa del porcentaje de la distorsión temporal. Debido a que no todas las investigaciones reportan la DRD como medida de la magnitud del EOT, este valor se tuvo que calcular con los datos proporcionados en las investigaciones.

En la primera investigación que utilizó la tarea *oddball* temporal, realizada por Tse et al. (2004), se reportó una sobreestimación de los estímulos meta hasta de un 60%. Este nivel tan alto de DRD no se ha vuelto a presentar en ninguna otra investigación sobre el EOT. Posiblemente, la magnitud de la DRD reportada por Tse et al. (2004) se deba a que las duraciones a comparar del estímulo meta (ej. 450, 525, 600, 675, 750, 825, 900, 975, y 1,050ms) no se distribuyeron de manera simétrica alrededor de la duración del estímulo estándar (1,050ms).

Las subsecuentes investigaciones sobre el EOT reportan valores de la DRD hasta de 14%. Sin embargo, en promedio, utilizando la clásica tarea *oddball* temporal la DRD suele ser de 8%. Por ejemplo, en experimentos en los que se presentó el estímulo comparativo en una posición aleatoria en la serie de estímulos estándar se ha reportado una DRD dentro de un rango que va de 6% a 14% (Birngruber et al., 2014; Pariyadath y Eagleman, 2007, 2012; Schindel et al., 2011). Cuando se presenta el estímulo comparativo en una posición fija en la serie de estímulos estándar se ha observado una DRD dentro de un rango de 8% a 10% (Cai et al., 2015; Lin y Shimojo, 2017). En contraste, en las investigaciones que han utilizado la tarea comparativa se ha reportado una DRD dentro de un rango que va de 4% a 6% (Birngruber et al., 2015a; Matthews, 2011; Ulrich et al., 2006).

Por otra parte, respecto a los efectos de la repetición de un estímulo en la duración percibida se ha observado una subestimación del estímulo meta cuando éste es idéntico en sus características físicas al estándar. En este sentido, se ha reportado valores negativos de la DRD dentro de un rango de -5% a -9% (Cai et al., 2015; Birngruber et al., 2015a; Matthews, 2011). Sin embargo, al incrementar la probabilidad de presentación de un estímulo meta idéntico al estímulo estándar en un bloque de ensayos (80% vs. 20%),

haciendo que su ocurrencia sea esperada, la DRD disminuye a -1% (Cai et al., 2015). Incluso, se ha reportado que cuando la presentación de un estímulo meta idéntico al estándar es esperada, las diferencias entre la magnitud de la DRD provocada por un estímulo meta diferente al estándar y uno idéntico se desvanecen (Matthews, 2015; Skylark y Gheorghiu, 2017).

2. Hipótesis explicativas del EOT

En la literatura sobre el EOT existen tres principales hipótesis explicativas al fenómeno, las cuales se pueden agrupar en dos hipótesis basadas en sus argumentos explicativos centrales. Primero, la hipótesis atencional (Tse et al., 2004) y la hipótesis del nivel de activación fisiológica (Ulrich et al., 2006), las cuales están basadas en la teoría del reloj interno que asume la existencia de un mecanismo interno especializado para los procesos temporales. Segundo, la hipótesis de la eficiencia de la codificación neuronal de un estímulo, la cual sugiere que existe una correlación entre la duración percibida y la magnitud de la respuesta neuronal evocada por un estímulo (Pariyadath y Eagleman, 2007, 2012; Schindel et al., 2011). Sin embargo, a pesar de sus marcadas diferencias teóricas las principales teorías explicativas comparten la explicación central respecto a los efectos de las expectativas en la duración percibida. Estas hipótesis, basadas en las expectativas, concuerdan en que la tasa de procesamiento de información perceptual está estrechamente relacionada con la duración percibida de un estímulo. Por lo tanto, un estímulo inesperado se sobreestima en duración debido a que se requieren más recursos de procesamiento para extraer la información perceptual del estímulo. En cambio, un estímulo esperado se subestima en duración debido a que la anticipación de las características del estímulo reduce la cantidad de información perceptual que se tiene que procesar. Sin embargo, recientemente, mediante la manipulación de distintas configuraciones de secuencias de estímulos, se ha reportado evidencia contradictoria en torno a las hipótesis basadas en expectativas. A continuación se describen a mayor detalle las principales hipótesis explicativas, los hallazgos que llevaron a concluir a cada una de ellas, así como el giro explicativo que investigaciones recientes han dado al EOT.

2.1. Hipótesis basadas en el reloj interno

Tse et al. (2004) realizaron la primera investigación sobre el EOT. De hecho, fueron los primeros en nombrar al fenómeno provocado por los estímulos meta (*oddball*) como ‘expansión subjetiva del tiempo’. En múltiples experimentos, Tse et al. (2004) presentaron el estímulo meta en una posición aleatoria en la serie y manipularon tanto la saliencia de los estímulos así como la escala temporal de presentación de los estímulos (duraciones muy cortas de 75 ms hasta duraciones largas de 2,100 ms). La saliencia la definieron operacionalmente como la cantidad de cambio del estímulo meta en relación a los estímulos estándar repetitivos. Respecto al tiempo de presentación de los estímulos, Tse et al. (2004) encontraron que al utilizar duraciones tan cortas como 75 ms el EOT no se presenta y que sólo ocurre a partir de duraciones de 120 ms. En relación a la saliencia de los estímulos, observaron que la magnitud del EOT incrementaba cuanto más salientes fueran los estímulos meta en sus características físicas en comparación con los estímulos estándar. Por ejemplo, debido a que los estímulos en movimiento son altamente salientes (Brown, 1995), al presentar estímulos meta en movimiento (círculo que se expande) éstos provocaron el mayor EOT. Es importante mencionar que cuando los estímulos estándar eran más salientes que los estímulos meta, también se presentaba el EOT pero en menor medida.

La hipótesis atencional de Tse et al. (2004) nace a partir de la observación de la presencia del EOT a partir de los 120 ms de presentación de los estímulos, debido a que dirigir la atención requiere cierto tiempo después de que un estímulo es detectado. Además, la hipótesis atencional se centra en los resultados sobre la influencia de la saliencia del estímulo meta para determinar la magnitud del EOT. Por lo tanto, concluyeron que el EOT

ocurre al dirigir la atención vía *bottom-up* hacia un estímulo meta debido a su rareza o la baja probabilidad de ocurrencia dentro de la serie de estímulos estándar. Las explicaciones a estas observaciones se fundamentan en el modelo del reloj interno, el cual es dominante en la literatura sobre percepción del tiempo (Buhusi y Meck, 2005; Church, 1984, 2003; Gibbon y Church, 1984; Gibbon, 1991). Esto se debe, principalmente, a que las habilidades temporales comparten características distintivas con la percepción sensorial, tal como las propiedades escalares (Allman, Teki, Griffiths, y Meck, 2014; Wearden y Lejeune, 2008). Las propiedades escalares refieren a una “transformación de escala”, en donde un patrón de respuesta conductual es el mismo en todos los intervalos de tiempo, si el tiempo es escalado en unidades relativas (Church, 2003). Desde un punto de vista mecanicista, el reloj interno tiene un interruptor y un marcapasos que emite pulsos los cuales son almacenados para después tomar una decisión sobre la duración en relación al intervalo de referencia (Figura 4). Cuando se presenta el estímulo que se requiere juzgar en duración, el interruptor se cierra, estableciendo una conexión entre el mecanismo del marcapasos y el almacenamiento de los pulsos emitidos por el marcapasos (Treisman, 1963; Gibbon, 1977; Church, 1984; Gibbon y Church, 1984).

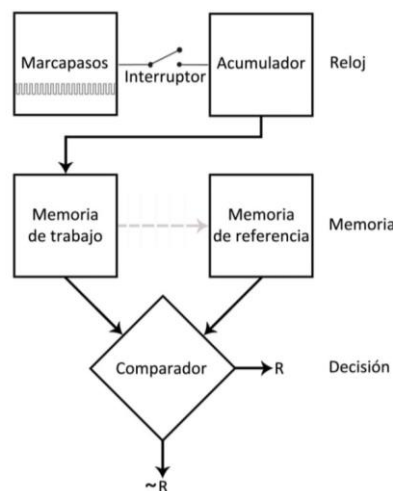


Figura 4. Diagrama esquemático de los componentes del procesamiento de información en una tarea temporal. La primera sección representa los componentes del reloj interno, la segunda sección representa a la memoria de trabajo (corto plazo) y de referencia (largo plazo), la tercera sección representa el proceso de toma de decisiones en donde se compara el contenido entre la memoria de trabajo y la de referencia. Las flechas indican la dirección del flujo de información en el sistema (Gibbon y Church, 1984; Figura 26.3, p. 468 - adaptada y traducida al español-).

La hipótesis atencional de Tse et al. (2004) establece que los estímulos meta, al ser inesperados, orientan la atención y en consecuencia incrementa la tasa de procesamiento de información perceptual acelerando el marcapasos (Tse et al., 2004). Esta hipótesis desafía los supuestos del reloj interno respecto a los efectos de la atención sobre la duración percibida. Cuando la atención se distrae del paso del tiempo y se dirige hacia las características no temporales de un estímulo, se espera una subestimación del estímulo debido a una reducción en los pulsos almacenados (Brown, 1995; Grondin, 2010). Para resolver esta problemática, Tse et al. (2004) plantearon un ajuste al modelo del reloj interno en el cual la atención sí puede incrementar la cantidad de pulsos almacenados. Esto se logra, al considerar que el contador tiene acceso a la tasa de procesamiento de información perceptual. Entonces, debido a que un estímulo meta atrae la atención en mayor o menor medida (dependiendo de la saliencia), se almacenan más pulsos por el aumento del procesamiento de información perceptual (Figura 5).

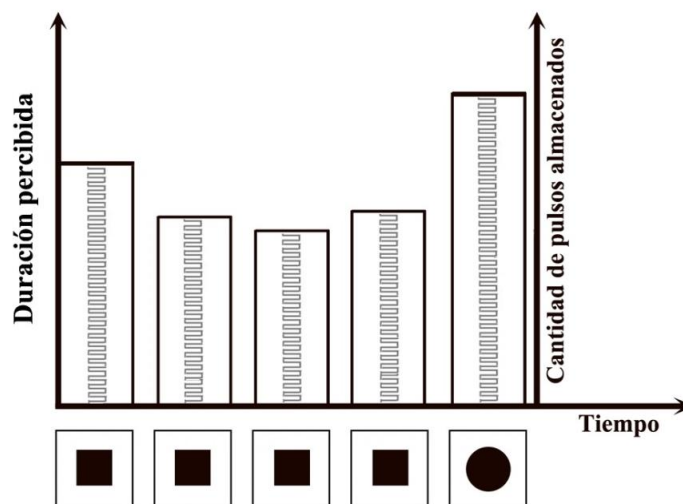


Figura 5. Representación esquemática de la cantidad de pulsos almacenados dependiendo de la tasa de procesamiento de los estímulos estándar repetitivos y el estímulo meta durante la tarea *oddball* temporal.

Por otra parte, alejándose de la explicación atencional, Ulrich et al. (2006) propusieron que un estímulo de baja probabilidad de ocurrencia, al ser inesperado, incrementa el nivel de activación fisiológica y en consecuencia provoca el EOT. La hipótesis del nivel de activación fisiológica sugiere que los estímulos meta inesperados aceleran el reloj interno y por lo tanto su duración percibida. En su investigación, Ulrich et al. (2006) utilizaron la tarea comparativa, presentando sólo dos estímulos consecutivos por ensayo: un estímulo estándar de duración constante y un estímulo meta de duración variable. En cada bloque de ensayos, las expectativas de los observadores sobre los estímulos meta fueron manipuladas presentando un tipo de estímulo meta con mayor frecuencia que otro. La saliencia de los estímulos meta fue controlada, manipulando sólo la frecuencia de presentación. Los resultados indicaron que los estímulos meta menos frecuentes provocaron el EOT en mayor medida que aquellos que se presentaban con mayor frecuencia.

Ulrich et al. (2006), argumentaron que el EOT no se debe, esencialmente, a que la atención se dirige hacia un estímulo meta debido a sus características salientes, más bien éste ocurre debido a un incremento en el nivel de activación fisiológica al percibir un estímulo inesperado. En este sentido, la magnitud del EOT depende de qué tan inesperado sea el estímulo meta. Esta hipótesis concuerda con el modelo del reloj interno planteado por Treisman (1963), que propone que un incremento en la activación fisiológica acelera el marcapasos del reloj interno y en consecuencia la duración percibida de un estímulo.

2.2. Hipótesis de la eficiencia de codificación

La hipótesis de la eficiencia de codificación, entendida como la cantidad de energía o gasto metabólico requerido para codificar el estímulo, plantea que existe una correlación entre la duración percibida y la magnitud de la respuesta neuronal evocada por un estímulo (Eagleman y Pariyadath, 2009; Matthews, 2011; Matthews, Terhune, van Rijn, Eagleman, Sommer, y Meck, 2014; Pariyadath y Eagleman, 2007, 2012; Schindel et al., 2011). Esta hipótesis sugiere que los juicios de duración están estrechamente relacionados con la supresión por repetición. Durante la supresión por repetición, la tasa de disparo de las neuronas en áreas corticales superiores tiende a disminuir en respuesta a la presentación repetida de un estímulo (para una revisión ver Grill-Spector, Henson y Martin, 2006; Henson y Rugg, 2003). En este sentido, se ha observado que el número de repeticiones del estímulo estándar, previas al estímulo meta inesperado, modula el tamaño del EOT (Pariyadath y Eagleman, 2012). Por lo tanto, el EOT es una consecuencia indirecta de la reducción de la respuesta neuronal evocada por la repetición de un estímulo (Pariyadath y Eagleman, 2007; 2012; Schindel et al., 2011). Un estímulo estándar repetitivo disminuye la

respuesta neuronal debido a que ha sido codificado eficientemente, en contraste con la respuesta neuronal evocada por un estímulo inesperado (Figura 6).

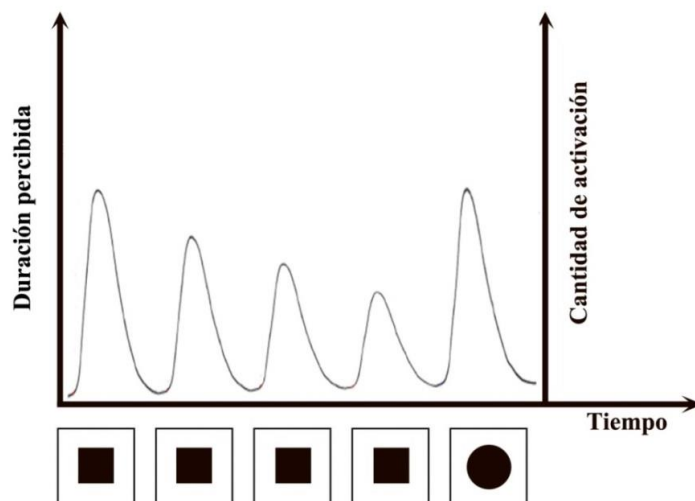


Figura 6. Representación esquemática de la respuesta neuronal evocada por los estímulos presentados durante la tarea *oddball* temporal, la cual determina la duración percibida. Se ejemplifica la disminución de la respuesta neuronal debido a la supresión por repetición y el incremento de la respuesta neuronal al presentarse el estímulo *oddball*.

Para comprender la importancia de la supresión por repetición como elemento explicativo del EOT, es pertinente enfatizar algunas características esenciales sobre el fenómeno en cuestión. En la investigación realizada por Li, Miller y Desimone (1993), la respuesta de casi un tercio de las neuronas registradas disminuyó sistemáticamente con la repetición de un estímulo (Figura 7). Después de 6 a 8 repeticiones, las respuestas de las neuronas alcanzaron un nivel máximo de disminución de aproximadamente 40%. Esta reducción en la respuesta neuronal, se observó principalmente en aquellas neuronas que estaban más activas durante la primera presentación del estímulo. La supresión por repetición se ha explicado mediante un procesamiento *bottom-up* de la información

perceptual en el que las presentaciones subsecuentes de un estímulo se codifican de forma más eficiente disminuyendo la población de neuronas requeridas para procesar el estímulo (Wiggs y Martin, 1998; Grill-Spector et al., 2006; Eagleman, Tse, Buonomano, Janssen, Nobre y Holcombe, 2005). En contraste, existe otra teoría explicativa sobre la supresión por repetición basada en el cumplimiento de las expectativas perceptuales mediante procesamiento *top-down*. El procesamiento *top-down* es un proceso activo, basado en expectativas o metas (Theeuwes, 2010), e hipótesis perceptuales (Clark, 2015). Por lo tanto, la supresión por repetición refleja una reducción del error predictivo (Friston, 2005; Summerfield et al., 2008).

El error predictivo es la discrepancia entre la entrada sensorial que se predice y la entrada sensorial actual (Clark, 2013; Rao y Ballard, 1999). La supresión por repetición se ha observado con la presentación de estímulos esperados por los observadores en sus características físicas (Pariyadath, Churchill y Eagleman, 1993; Pariyadath, Plitt, Churchill y Eagleman, 2012; Summerfield, Trittschuh, Monti, Mesulam y Egner, 2008). Por ejemplo, se ha reportado supresión por repetición al presentar secuencias de estímulos de categorías ordinales como meses del año, días de la semana, letras del alfabeto y números (Pariyadath et al., 1993; 2012). Por este motivo, se ha propuesto que la supresión por repetición debería llamarse supresión por predicción (Pariyadath y Eagleman, 2007; Pariyadath et al., 1993; 2012).

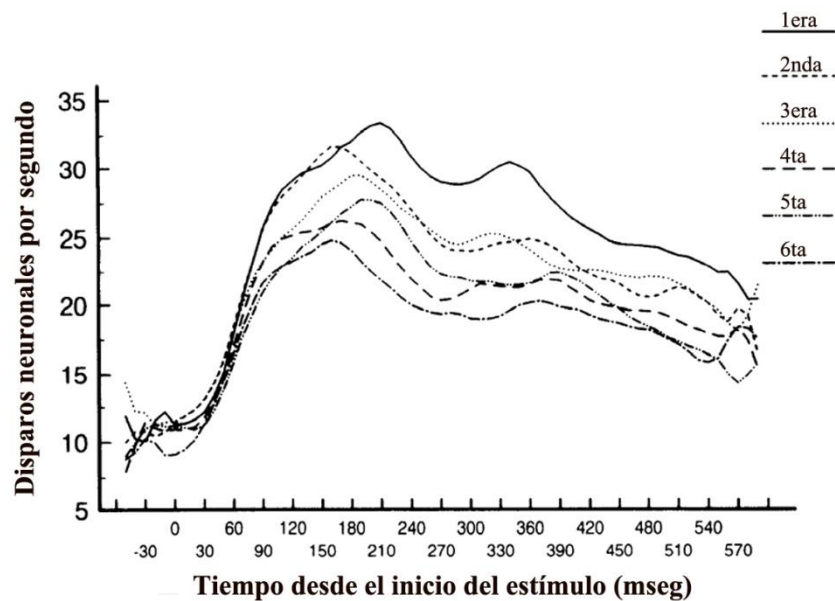


Figura 7. Evolución en el tiempo de la respuesta a estímulos conforme se suprime por repetición. Se muestran las respuestas de las 25 neuronas que mostraron un decremento significativo a la repetición. El estímulo inicia a los 0 ms y termina a los 500 ms (Li et al., 1993; Figura 9, p. 1925 -traducida al español-).

Para poner a prueba la hipótesis atencional y la del nivel de activación fisiológica del EOT, Pariyadath y Eagleman (2007) compararon el EOT mediante dos condiciones: estímulos meta inesperados con características neutrales y emocionalmente salientes (ej. tiburones, arañas, víboras, armas). Los estímulos meta se presentaron entre la 5ta y 8va posición de una serie de nueve estímulos estándar y las condiciones experimentales se presentaron de forma aleatoria durante los ensayos. El objetivo era conocer si se presentaba un mayor EOT al presentar estímulos emocionalmente salientes que activan la amígdala y atraen la atención automáticamente (Holland y Gallagher, 1999). En ambas condiciones observaron el EOT, sin embargo, no hubo diferencias significativas entre las condiciones. Según Pariyadath y Eagleman (2007), estos resultados apuntan a que el EOT se debe al

procesamiento de las características inesperadas del estímulo meta, independientemente, de la saliencia de los estímulos.

Schindel et al. (2011), con el mismo objetivo que Pariyadath y Eagleman (2007), realizaron una investigación para conocer si el EOT se explica mediante la codificación predictiva de la duración (error predictivo) o por el incremento del nivel de activación fisiológica causado por estímulos salientes. Para esto, se basaron en la siguiente evidencia: a) el aumento en la visibilidad (luminancia) de un estímulo aislado provoca un incremento en la duración percibida (Xuan, Zhang, He y Chen, 2007), b) al aumentar la luminancia de un estímulo se observa un incremento de la tasa de disparo de las neuronas de la corteza visual primaria V1 (Goodyear y Menon, 1988). Por lo tanto, Schindel et al. (2011), presentaron estímulos estándar y estímulos meta con distinta luminancia. Los estímulos meta se presentaron entre la 7ma y 10ma posición en la serie de once estímulos. No se observaron diferencias significativas en la magnitud del EOT entre la condición experimental en la que el estímulo estándar tenía mayor luminancia que el estímulo meta y la condición opuesta, en la que los estímulos estándar eran de menor luminancia que el estímulo meta. Estos resultados son inconsistentes con la idea de que la duración percibida depende de las características salientes de un estímulo aislado. Por lo tanto, un estímulo es más o menos saliente en relación al contexto y, debido a que en ambas condiciones los estímulos meta eran igualmente inesperados, los resultados apoyan la hipótesis sobre la codificación predictiva de la duración.

Sumado a lo anterior, si la duración percibida se explica mediante los planteamientos de la codificación predictiva del cerebro, la duración de un estímulo meta debe incrementar con la magnitud del error predictivo. Para validar esta aseveración

Schindel et al. (2011) realizaron otro experimento. Presentaron repetidamente un rectángulo vertical blanco como estímulo estándar y estímulos meta de rectángulos grises en tres distintas orientaciones: 1) vertical (misma orientación que el estándar), 2) rotado $\pm 15^\circ$ grados en relación al estándar, 3) rotado $\pm 45^\circ$ en relación al estándar. En cada ensayo, el estímulo *oddball* se presentó aleatoriamente entre la 7ma y 10ma posición en la serie de 11 estímulos, así como la orientación del estímulo *oddball*. Los datos mostraron que la magnitud del EOT aumentaba linealmente con la diferencia en el ángulo de inclinación del rectángulo. De la misma forma, Pariyadath y Eagleman (2012) variaron el ángulo de inclinación de una línea en relación a la orientación de una línea estándar repetitiva. El experimento se dividió en dos condiciones: a) el ángulo del estímulo meta variaba por 0° , 5° , 10° , 15° o 20° , y b) variaba por 10° , 30° , 50° , 70° y 90° . El estímulo meta se presentó de forma fija en la 5ta posición de la serie y en cada ensayo, la orientación de la línea del estímulo meta fue aleatoria. Los resultados mostraron que el EOT incrementa significativamente con el grado de diferencia de la inclinación de la línea del estímulo meta en relación a la inclinación de la línea del estímulo estándar. Sin embargo, observaron que el efecto parece saturarse a los 50° de diferencia. Estas investigaciones sugieren que el EOT surge de un análisis predictivo, en el que un estímulo repetitivo y un estímulo meta están estrechamente relacionados debido a que la magnitud del EOT incrementa al aumentar la discrepancia entre el estímulo estándar repetitivo y el estímulo meta.

Por otra parte, según lo propuesto por la teoría de la supresión por predicción, se esperaría que no fuera necesario repetir el mismo estímulo estándar para provocar el EOT. Una secuencia ordenada de estímulos al ser perfectamente predecibles provocan supresión

por predicción. Por ejemplo, en la investigación (experimento 4) realizada por Pariyadath y Eagleman (2007), se encontró que al igual que la repetición de un estímulo, la predictibilidad de los estímulos en orden secuencial puede disminuir la duración percibida. Al presentar el número ‘1’ repetidamente (1, 1, 1, 1, 1), el primer ‘1’ de la serie se percibió de mayor duración en comparación a los subsecuentes. A esta distorsión temporal se le llama *efecto debut*: el primer estímulo de una serie de estímulos repetitivos se percibe de mayor duración. El *efecto debut* también ocurrió al presentar una secuencia de números en orden secuencial (1, 2, 3, 4, 5). Sin embargo, al presentar los números aleatoriamente (1, 4, 3, 5, 2), el *efecto debut* no ocurrió. Estos resultados apoyan la hipótesis de que los estímulos predecibles inducen una codificación más eficiente (Grill-Spector et al., 2006; Pariyadath, et al., 1993; 2012) y que este fenómeno está estrechamente relacionado con la duración percibida.

Por todo lo anterior, parece que el proceso inicial necesario para generar el EOT, no es un proceso relacionado con la atención que se da por la simple detección de un estímulo meta raro o diferente al estándar, sino por un proceso predictivo que hace a un estímulo meta inesperado y en consecuencia la atención se dirige para su procesamiento (Pariyadath y Eagleman, 2007; 2012; Schindel et al., 2011). Desde este encuadre, la hipótesis sobre la eficiencia de codificación argumenta que, bajo los principios de la codificación predictiva, la duración se codifica en el cerebro junto con el nivel de activación neural para procesar un estímulo (para una revisión sobre la duración subjetiva y la eficiencia de codificación ver Matthews et al., 2014). Si la hipótesis de la codificación predictiva de la duración está en lo correcto, la duración subjetiva puede potencialmente informar qué tan eficientemente un estímulo se ha codificado (Pariyadath y Eagleman, 2012). Sin embargo, evidencia

empírica reciente sugiere que las expectativas hacia un estímulo no reducen la duración percibida, por el contrario, la incrementan. Por lo tanto, se ha dado un giro explicativo respecto a las aseveraciones sobre el EOT planteadas por las teorías explicativas basadas en expectativas.

2.3. Investigaciones recientes: giro explicativo

De acuerdo con las hipótesis basadas en expectativas, la duración percibida se debe reducir cuando un estímulo se repite, y de manera más general, cuando un estímulo es esperado en sus características físicas. Para poner esta aseveración a prueba, Cai et al. (2015) utilizando la tarea *oddball* temporal, manipularon distintas formas de expectativas hacia el estímulo meta. Presentando en todas las condiciones experimentales el estímulo meta al final de la secuencia de cuatro estímulos estándar, manipularon: la probabilidad de ocurrencia de un estímulo meta (ej. A-A-A-A-B y A-A-A-A-C; 80% vs. 20%), la regularidad del estímulo meta con relación al patrón de la secuencia de estímulos estándar (ej. A-B-A-B-A y A-B-A-B-B), y presentando secuencias previamente aprendidas (números descendentes y ascendentes). En esta última condición el estímulo meta de la secuencia podía ser un número repetido (ej. 1-2-3-4-4), un número esperado según la secuencia aprendida (ej. 1-2-3-4-5), o un número que viola las expectativas de la secuencia (ej. 1-2-3-4-6). De manera consistente, observaron que la duración percibida sólo se redujo con la repetición de los estímulos pero no con las expectativas generadas en cada una de las condiciones experimentales. En particular, observaron que los efectos de repetición ocurren incluso si la repetición es inesperada. Los resultados indicaron que el efecto fue más pronunciado cuando las repeticiones eran poco frecuentes (20% de los ensayos) que cuando tenían alta probabilidad de ocurrir (80% de los ensayos). Cai et al. (2015)

concluyen que la duración percibida depende, principalmente, de un procesamiento *bottom-up* de las características de los estímulos.

En otra investigación, Matthews (2015) manipuló las expectativas hacia los estímulos meta variando la frecuencia de repetición utilizando la tarea de comparación presentando sólo dos estímulos consecutivos, en donde el estímulo meta podría ser repetido o diferente. El diseño experimental consistió en presentar bloques de ensayos de alta frecuencia de repetición de estímulos, en los que la mayoría de los ensayos contenían estímulos repetidos (80% repetidos, 20% diferentes) y bloques de baja frecuencia de repetición. En ambos tipos de bloques se observó el EOT cuando se presentaban los estímulos diferentes. Sin embargo, el efecto de repetición, el cual disminuye la duración percibida, se revirtió cuando los estímulos repetidos tenían una alta probabilidad de ocurrencia. En otras palabras, cuando los estímulos meta repetidos eran esperados por los observadores su duración percibida incrementó. Estos resultados sugieren efectos opuestos en la duración percibida de la simple repetición de un estímulo y de las expectativas de repetición de un estímulo (Matthews, 2015). Skylark y Gheorghiu (2017) replicaron la investigación de Matthews (2015) y de la misma forma, no encontraron diferencias significativas entre los estímulos meta diferentes al estándar y los estímulos meta iguales al estándar cuando éstos tenían una alta probabilidad de repetición durante los ensayos. Por lo tanto, estas investigaciones sugieren que las expectativas de repetición de un estímulo incrementan la duración percibida.

Schweitzer et al. (2017), utilizando la tarea *oddball* temporal, investigaron los efectos de las expectativas contextuales en la duración percibida. El diseño experimental implicó presentar estímulos meta asociados contextualmente a los estímulos estándar y

estímulos meta no asociados al estímulo estándar. Los resultados indicaron que el EOT se presentó tanto con los estímulos meta no asociados como con asociados contextualmente al estímulo estándar. Sin embargo, la magnitud del EOT incrementó significativamente con los estímulos meta contextualmente asociados. Schweitzer et al. (2017) sugieren que la diferencia observada entre ambos tipos de estímulos meta se debe a que la atención *top-down* es dirigida con mayor facilidad a los estímulos asociados contextualmente debido a que los objetos asociados a un contexto específico están activados previamente mediante un *priming* semántico.

Por otra parte, para aislar los efectos de las expectativas sobre un estímulo respecto a la probabilidad de repetición sobre la duración percibida, Birngruber et al. (2018) utilizaron el paradigma de las expectativas auto-generadas (Bernstein y Reese, 1965). En cada ensayo, antes de la presentación del estímulo meta los participantes vocalizaban sus expectativas sobre el color y la forma del estímulo. Después de la presentación del estímulo meta, los participantes juzgaban al estímulo como “más corto” o “más largo” mediante la tarea de bisección. Los resultados indicaron que cuando las características del estímulo meta coincidían con las expectativas auto-generadas de los participantes los estímulos meta se sobreestimaron en mayor medida que cuando no coincidían.

A pesar de que la reciente evidencia empírica sugiere que las expectativas de los observadores hacia los estímulos incrementan la duración percibida, es importante señalar cómo algunos de los métodos utilizados en las investigaciones dificultan concluir al respecto. En el caso del experimento realizado por Cai et al. (2015), aunque utilizaron la tarea *oddball* temporal y controlaron los efectos de posición, en los bloques experimentales se presentaron aleatoriamente los distintos tipos de secuencias. En este sentido, al mezclar

los distintos tipos de secuencias, es muy probable que las expectativas de los participantes hacia el estímulo meta fueran afectadas. Por ejemplo, en el experimento en el que se presentaron secuencias de números, después de varios ensayos es muy probable que los participantes aprendieran que después de la presentación del número 4 (ej. 1-2-3-4), los números 4, 5 o 6, usados como estímulos meta se podrían presentar con la misma probabilidad de ocurrencia. En otras palabras, bajo estas condiciones experimentales, los participantes no sólo esperaban la ocurrencia de un número 5 después de un 4 (como el experimento suponía al presentar secuencias previamente aprendidas), también podían esperar un 4 o un 6. Por lo tanto, también se puede argumentar que aunque los participantes tenían conocimiento de que alguno de estos tres números se utilizaría como estímulo meta, la presentación de un número en específico era inesperada en cada ensayo.

Respecto a las investigaciones realizadas por Matthews (2015) y por Skylark y Gheorghiu (2017), aunque sus resultados fueron contundentes, utilizaron la tarea comparativa en lugar de la tarea *oddball* temporal. Por lo tanto, aún no queda claro si este mismo patrón de resultados se presentaría al utilizar la tarea *oddball* temporal, la cual implica la repetición de varios estímulos estándar previos al estímulo meta. Este punto es importante debido a que si las expectativas de repetición de un estímulo incrementan la duración percibida, tal y como se argumenta en sus investigaciones, esto mismo debería ocurrir durante la presentación repetida de los estímulos estándar en la tarea *oddball* temporal. Por lo tanto, el EOT no debería ocurrir al comparar la duración de un estímulo meta con la duración de los estímulos estándar repetitivos.

Finalmente, aunque Schweitzer et al. (2017) utilizaron la tarea *oddball* temporal en su investigación, en todos los bloques experimentales presentaron de forma aleatoria los

estímulos meta contextualmente asociados y no asociados. Además, no controlaron los efectos de posición del estímulo meta. Por estos motivos, es posible argumentar que aunque los estímulos asociados contextualmente activan un *priming* semántico, tanto los estímulos meta asociados y no asociados contextualmente eran inesperados por los observadores en términos de sus características físicas y con relación a cuándo serían presentados dentro de la secuencia.

Por todo lo anterior, aunque se ha proporcionado evidencia de que las expectativas sobre las características físicas de un estímulo meta incrementan la duración percibida, aún es difícil establecer conclusiones contundentes al respecto. Es importante señalar que las notables diferencias metodológicas entre las investigaciones antes mencionadas dificultan hacer una comparación directa entre ellas. De la misma forma, algunos de los métodos experimentales utilizados podrían poner en duda las aseveraciones que realizan sobre los efectos de las expectativas en la duración percibida.

2.4. Hipótesis sobre la atención *top-down*

Para encontrar una explicación a la ocurrencia del EOT, Lin y Shimojo (2017) realizaron varios experimentos de manera sistemática para disociar las contribuciones relativas de cada uno de los factores centrales de las hipótesis explicativas. Lin y Shimojo (2017) sugirieron que la hipótesis atencional se puede dividir en los efectos de la saliencia procesada vía *bottom-up* y la atención *top-down*. La hipótesis de la eficiencia de codificación, la cual está relacionada con los efectos de la supresión por repetición, se puede dividir en los efectos de la adaptación y del error predictivo. Por lo tanto, esto implica que hay cuatro hipótesis en cuestión: atención *top-down*, saliencia *bottom-up*,

adaptación, y error predictivo. Aunque teóricamente la saliencia y la adaptación son diferentes, esto no ocurre en la definición operacional de estos conceptos en sus experimentos (adaptación a la repetición de los estímulos estándar y saliencia del estímulo meta al ser diferente a los estándar repetitivos). Por lo tanto, las tres hipótesis que pusieron a prueba para conocer su relativa contribución a la ocurrencia del EOT fueron: la atención *top-down*, la saliencia/adaptación, y el error predictivo.

Lin y Shimojo (2017) manipularon ortogonalmente diferentes secuencias de dígitos y orientaciones de líneas (repetidas, ordenadas y aleatorias). La configuración de la secuencia de estímulos repetidos es la que tradicionalmente se usa en la tarea *oddball* temporal, en la que los estímulos estándar se repiten y el estímulo meta es diferente a los estándar. En esta condición experimental, los tres factores explicativos (atención *top-down*, saliencia/adaptación, y error predictivo) podrían explicar la ocurrencia del EOT. En la condición de secuencias ordenadas, en donde los estímulos estándar no se repiten pero siguen una configuración ordenada, el factor explicativo de saliencia/adaptación se excluye. Finalmente, en la condición de las secuencias aleatorias de estímulos estándar el error predictivo se excluye como factor explicativo dejando sólo la atención *top-down* como el único factor explicativo de la ocurrencia del EOT.

En los experimentos donde presentaron secuencias de dígitos y orientaciones de líneas, Lin y Shimojo (2017) encontraron diferencias significativas en el EOT entre las condiciones de secuencias repetidas y ordenadas, así como entre las condiciones de secuencias repetidas y aleatorias, pero no hubo diferencias entre las secuencias ordenadas y aleatorias. Estos resultados sugieren que la atención *top-down* y la saliencia/adaptación, pero no el error predictivo, son los factores subyacentes de la ocurrencia del EOT. Por lo

tanto, los autores concluyeron que el EOT ocurre debido a que el estímulo meta es el estímulo relevante para la tarea, lo cual no está relacionado con ser inesperado por el observador, sino con que la atención *top-down* es dirigida hacia el estímulo meta en respuesta a los requerimientos de la tarea.

Es importante mencionar que en la condición de secuencias aleatorias de estímulos estándar, los participantes recibieron instrucciones previas sobre qué características físicas tendría el estímulo meta para poderlo identificar dentro de la secuencia. A diferencia de las secuencias repetidas y ordenadas, en la secuencia aleatoria, aunque los participantes tenían 100% de certeza de las características físicas del estímulo meta, éste también provocó un EOT sustancial. En este sentido, Lin y Shimojo (2017) sugieren que la atención *top-down* opera de manera independiente de la codificación predictiva, en términos de los efectos de las expectativas de los observadores hacia las características físicas de los estímulos meta.

A pesar de la relevancia de la investigación de Lin y Shimojo (2017) para explicar la ocurrencia del EOT, su diseño experimental no permite disociar la contribución de la atención *bottom-up* dirigida hacia los estímulos meta cuando éstos son inesperados y de la atención *top-down* en términos del procesamiento de los estímulos relevantes para la tarea. En las condiciones de secuencias repetidas y ordenadas, en cada ensayo, los estímulos meta eran elegidos aleatoriamente, de tal forma que sus características físicas eran inesperadas. Por lo tanto, los participantes dirigían la atención vía *bottom-up* hacia el estímulo meta al detectar e identificar aquél que fuera diferente al estándar o que no siguiera la regularidad de la secuencia. Después de este proceso atencional vía *bottom-up*, el estímulo meta se tendría que procesar vía *top-down* al ser el estímulo relevante para la tarea. En cambio, en la condición de secuencias aleatorias, debido a que los participantes identificaban el

estímulo relevante para la tarea mediante las expectativas sobre las características físicas del estímulo, el procesamiento y la extracción de la información perceptual era facilitado sólo por mecanismos atencionales vía *top-down*. Además, el diseño experimental no permite realizar conclusiones contundentes respecto a los efectos de las expectativas en la duración percibida. En todas las condiciones experimentales, los estímulos meta era inesperados con relación a su posición en la secuencia ‘dónde’ y en el tiempo de presentación ‘cuándo’ (utilizaron un IEE aleatorio), y en las condiciones de secuencias repetidas y ordenadas, en sus características físicas. En este sentido, podría ser útil controlar la atención *top-down* hacia los estímulos meta volviéndolos esperados en ‘dónde’ y ‘cuándo’ se presentarán en la secuencia para determinar cómo sus características físicas esperadas e inesperadas afectan la duración percibida.

Con relación a la contribución adicional de la saliencia reportada por Lin y Shimojo (2017), sus resultados no permiten concluir cómo las características físicas más o menos salientes de un estímulo meta modulan el EOT cuando éstas son esperadas o inesperadas por los observadores. En este sentido, se ha reportado evidencia contradictoria. Por ejemplo, se ha observado que cuando los estímulos meta son esperados por los observadores, sus características salientes son un factor determinante para incrementar el EOT (van Wassenhove et al., 2008). Sin embargo, cuando los estímulos meta son inesperados, la saliencia no incrementa significativamente la magnitud del EOT (Pariyadath y Eagleman, 2007; Schindel et al., 2011). Estas investigaciones, a pesar de sus diferencias metodológicas, en términos de la posición en la serie en que el estímulo meta se presentó y en las características físicas de los estímulos utilizados, comparten el uso de una escala de presentación de los estímulos corta (500 ms). Posiblemente, se necesita menos

tiempo de procesamiento para extraer la información perceptual de un estímulo meta cuando sus características físicas son salientes y esperadas por los observadores.

Se ha sugerido que las propiedades físicas de un estímulo podrían ser un predictor muy útil sobre la duración percibida, en términos de qué tan eficientemente la información no-temporal de un estímulo puede extraerse (Matthews y Meck, 2016). De hecho, los mecanismos atencionales vía *top-down* habilitan la anticipación de las formas específicas de las características esperadas de un estímulo facilitando su procesamiento subsecuente (Ansorge et al., 2010). En este sentido, con una escala temporal corta de presentación de los estímulos, los estímulos meta esperados y salientes rápidamente pueden incrementar la magnitud del EOT en comparación con estímulos meta salientes pero inesperados, los cuales necesitarían más tiempo de procesamiento para incrementar la magnitud del EOT. Existen pocas investigaciones sobre el EOT que utilicen distintas escalas temporales de presentación de los estímulos bajo las mismas condiciones experimentales (ej. Tse et al., 2004; Ulrich et al., 2006). Por lo tanto, utilizar distintas escalas temporales de presentación de los estímulos, en las que se manipule la saliencia y las expectativas hacia las características físicas de los estímulos podría ayudar a resolver las contradicciones reportadas en la literatura. El objetivo de los experimentos reportados en la presente investigación fue conocer cómo las expectativas hacia las características de un estímulo meta, así como su saliencia, afectan la duración percibida cuando éstos son presentados utilizando una escala temporal corta (Experimento 1) y larga (Experimento 2).

3. Experimento 1

Tomando en consideración que la atención *top-down* es inherente en el procesamiento de los estímulos meta en la tarea *oddball* temporal, se hipotetizó que tanto los estímulos meta esperados e inesperados deben provocar el EOT. Para facilitar la atención *top-down*, se controló la preparación temporal de los participantes hacia el estímulo meta al siempre presentarlo en la quinta posición de la secuencia de estímulos y al utilizar un IEE fijo. Las expectativas temporales hacia el momento de presentación de un estímulo guían la atención *top-down*, y estas expectativas están directamente relacionadas con la eficiencia del procesamiento de información a un nivel perceptual, la cual mejora la detección y discriminación de los estímulos (Vangkilde, Coull y Bundesen, 2012; Kim y McAuley, 2013; Matthews y Meck, 2016). Debido a que todos los estímulos meta fueron esperados en términos temporales, las expectativas de los participantes y la saliencia de los estímulos fueron manipuladas sólo en lo que se refiere a las características físicas del estímulo meta. Por lo tanto, este diseño experimental permitió analizar los efectos en la duración percibida de ‘cuál’ estímulo meta era presentado en términos del procesamiento y la extracción de la información perceptual de estímulos esperados e inesperados, más o menos salientes.

Respecto a las condiciones experimentales de los estímulos meta esperados, se presentaron estímulos meta repetidos, idénticos en sus características físicas al estímulo estándar, y estímulos meta no-repetidos, distintos al estímulo estándar. Al presentarse el mismo estímulo en todos los ensayos se volvían perfectamente predecibles en sus características físicas. La distintividad de los estímulos meta esperados pero no-repetidos los hace más salientes en comparación con los estímulos meta idénticos a los estímulos

estándar. Esta manipulación se realizó para clarificar los efectos de las expectativas en la duración percibida hacia la repetición de un estímulo y hacia un estímulo no-repetido y saliente. La hipótesis que se planteó fue que los estímulos meta no-repetidos incrementarán en mayor medida la duración percibida que los estímulos meta repetidos.

En las condiciones experimentales de estímulos meta inesperados, se presentaron estímulos familiares y nuevos. A diferencia de los estímulos familiares, los estímulos nuevos son particularmente salientes y por definición son impredecibles y difíciles de categorizar (Courchensne et al., 1975; Schomaker, 2015). Esta manipulación buscó desambiguar los efectos de las características inesperadas y salientes en la duración percibida en lo que se refiere a la cantidad de información perceptual procesada ante estímulos meta familiares y nuevos. Es importante mencionar que los estímulos meta inesperados no eran sorprendidos en términos de la probabilidad de que ocurriera un evento inesperado: lo inesperado de los estímulos meta se limitó a sus características físicas. La hipótesis que se planteó fue que los estímulos meta nuevos incrementarán en mayor medida la duración percibida que los estímulos meta familiares inesperados.

3.1. Método

Participantes

Treinta miembros del Instituto de Biotecnología (IBt) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) participaron en el experimento. Siete participantes se excluyeron de la muestra debido a que no comprendieron la tarea ($n = 5$) o por presentar funciones psicométricas aplanadas ($n = 2$). La muestra final fue de veintitrés participantes (siete mujeres, con un rango de edad de 30 – 66 años, $M = 47.4$). Todos los participantes

reportaron ser diestros y tenían una agudeza visual normal o corregida. Cada sesión experimental duró aproximadamente 15 minutos y los participantes realizaron una sesión experimental durante cuatro días consecutivos. Los participantes accedieron a participar de manera voluntaria y no recibieron algún tipo de compensación económica o créditos en algún curso. Previo al experimento, se les informó a los participantes que el experimento trataba sobre la percepción del tiempo pero no tenían conocimiento sobre las hipótesis experimentales. Todos los participantes otorgaron un consentimiento informado y el experimento cumplió con los principios éticos de la Declaración de Helsinki. A la vez, el experimento fue aprobado por el Comité de Bioética del IBt de la UNAM.

Aparatos y estímulos

El experimento se programó en PsychoPy2 versión 1.83.01 (Pierce, 2007). Durante la programación del experimento, el tiempo de presentación de los estímulos fue estrictamente controlado al considerar todas las precauciones sugeridas por Garaizar, Vadillo, López-de-Ipiña y Matute (2014). Se utilizó una computadora laptop MacBook Pro para la presentación de los estímulos y el registro de todas las respuestas de los participantes. La pantalla LCD tenía una resolución de 1440 x 900 píxeles y una frecuencia de actualización de 60Hz. La flecha derecha e izquierda del teclado fueron usadas como botones de respuesta. La luminancia del fondo de la pantalla utilizado durante el experimento fue de un tono gris medio ($M \pm SEM = 10.14 \pm 0.3 \text{ cd/m}^2$; medida a 60 cm de distancia con un *Digital Luminosity Meter HER-140*).

Se presentaron dos tipos de estímulos, los cuales diferían en la facilidad para su reconocimiento: estímulos familiares (figuras geométricas simples) y estímulos nuevos

(patrones abstractos irregulares). La familiaridad perceptual, como es el caso de las figuras geométricas, facilita la generación de representaciones visuales detalladas e incrementa los efectos de las expectativas durante el procesamiento visual (Utzerath, John-Saaltink, Buitelaar y de Lange, 2017). Los patrones abstractos irregulares, utilizados como estímulos nuevos, eran impredecibles y difíciles de categorizar. Por lo tanto, estos estímulos también eran más complejos en sus características físicas que los estímulos familiares. Todos los estímulos cubrían aproximadamente 8.57° del ángulo visual (aproximadamente de 9 cm a una distancia visual de 60 cm) y se presentaron en el centro de la pantalla. Los estímulos familiares eran blancos ($M \pm SEM = 12.33 \pm 0.2 \text{ cd/m}^2$) y los estímulos nuevos contenían diferentes combinaciones de la escala de grises ($M \pm SEM = 8.91 \pm 0.3 \text{ cd/m}^2$). Los estímulos nuevos fueron generados mediante un programa en lenguaje Java (versión 1.7.0_75). El programa, dado el tamaño del estímulo solicitado, creaba distintas capas de figuras irregulares generadas por distintas formas, como por ejemplo, curvas de Bézier y líneas rectas. A cada una de estas formas se les asignó una posición aleatoria en el campo de acción, garantizando la generación de figuras de patrones irregulares abstractos substancialmente diferentes.

Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental unifactorial de medidas repetidas. El factor ‘tipo de estímulo meta’ se conformó de cuatro niveles (esperado e idéntico al estímulo estándar, esperado pero diferente al estímulo estándar, inesperado y familiar, inesperado y nuevo). Los factores no se mezclaron entre los bloques experimentales debido a que esto afectaría la medición de la variable dependiente respecto a la contribución de cada nivel del factor. Por lo tanto, se realizó un diseño de bloques no intermezclado (bloques homogéneos) para

cada condición experimental. Los participantes fueron asignados de manera aleatoria a cuatro ordenamientos de las condiciones experimentales obtenidos mediante un diseño de cuadrado latino balanceado. Dependiendo del ordenamiento asignado, en cada una de las cuatro sesiones experimentales los participantes realizaron una condición experimental, correspondiente a un nivel del factor tipo de estímulo meta.

Se diseñaron cuatro condiciones experimentales y se clasificaron según las características físicas del estímulo meta: *esperado repetido*, *esperado no-repetido*, *inesperado familiar* e *inesperado nuevo* (Figura 8). En las condiciones con los estímulos meta esperados, todos los estímulos estándar y los estímulos meta eran figuras geométricas (Figura 8.A). La manipulación de las expectativas y la saliencia de los estímulos meta se basó en la repetición del estímulo (volviéndolo menos saliente) y en la presentación de un estímulo no repetido pero diferente al estándar que era perfectamente predecible (volviéndolo más saliente). Se presentó un círculo como estímulo estándar, pero dependiendo de la condición experimental, el estímulo meta era o un círculo (*esperado repetido*) o un triángulo (*esperado no-repetido*).

En las condiciones de estímulos meta inesperados (Figura 8.B), la manipulación de las expectativas y la saliencia se basó en la presentación de distintos estímulos meta familiares (menos salientes) y estímulos meta nuevos (más salientes). En la condición *inesperado familiar*, se presentó un círculo como estímulo estándar y una de nueve diferentes figuras geométricas se presentaba de manera aleatoria como estímulo meta. Cada una de las nueve figuras geométricas se presentó una sola vez en cada bloque. En la condición *inesperado nuevo*, en todos los ensayos de los bloques experimentales se presentó como estímulo estándar la misma figura de patrones abstractos irregulares. En

este sentido, es relevante señalar que a diferencia de las otras condiciones experimentales, no se utilizó un círculo como estímulo estándar para evitar cualquier tipo de efectos de novedad contextual (Schomaker, 2015). Como estímulo meta, en cada ensayo se presentó uno de las 90 diferentes figuras de patrones abstractos irregulares, de tal forma que ninguno de estos patrones se repitió durante la condición experimental.

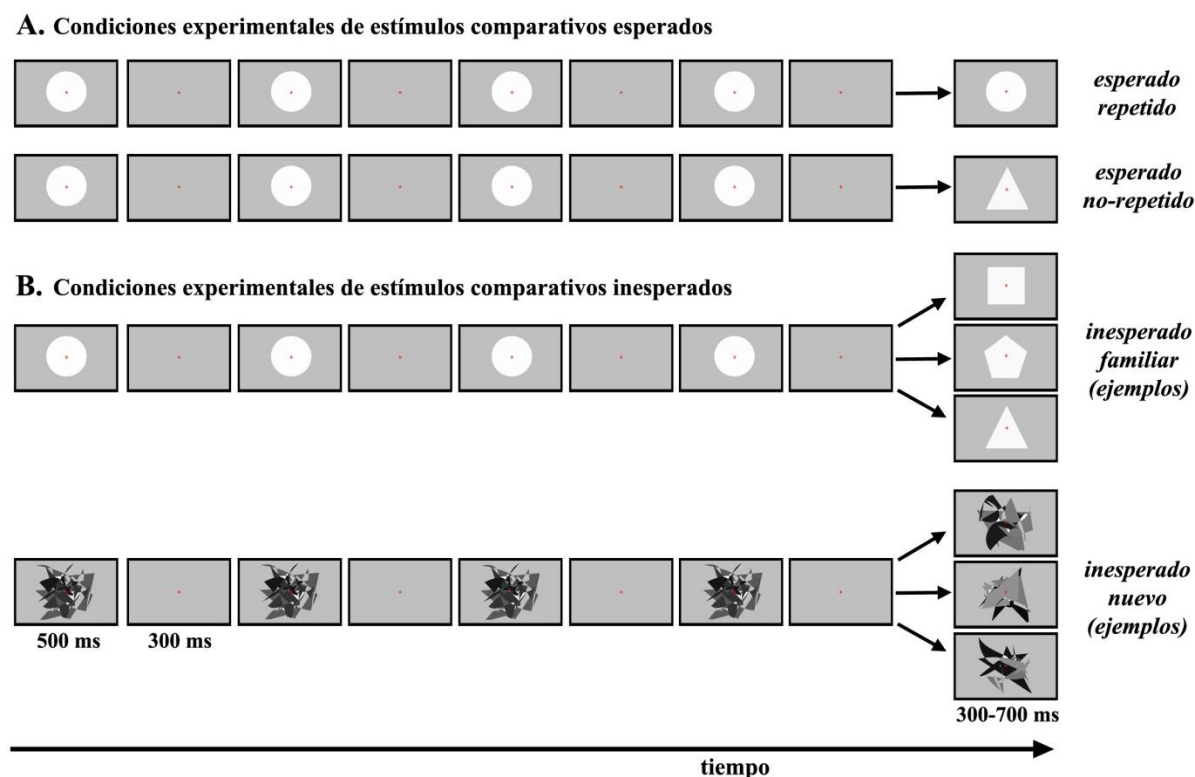


Figura 8. Representación esquemática de cada condición experimental. **A.** Condiciones experimentales de los estímulos meta esperados. Se muestra un ejemplo de los ensayos de la condición *esperado repetido* y de la condición *esperado no-repetido*. **B.** Condiciones experimentales de los estímulos meta inesperados. Se presentan tres ejemplos de los ensayos de la condición *inesperado familiar* e *inesperado nuevo*.

En todas las condiciones experimentales, cada ensayo consistió en la presentación de una serie de cinco estímulos. Los primeros cuatro estímulos de la serie eran estímulos estándar repetitivos, los cuales se presentaron con una duración constante de 500 ms. El

quinto estímulo de la serie siempre fue el estímulo meta el cual se presentaba con nueve diferentes duraciones comparativas. Para determinar las duraciones comparativas del estímulo meta, se utilizó el procedimiento psicofísico no-adaptativo. Los dos extremos de las duraciones comparativas ($c1$ y $c9$) se seleccionaron de tal manera que cubrieran todo el rango de la función psicométrica de 0 a 1, y las otras duraciones fueron predeterminadas en torno al umbral de discriminación temporal utilizando las fracciones de Weber (Rammsayer, 2010). Las fracciones de Weber, que se han reportado en la literatura respecto al desempeño en la discriminación temporal en humanos, se encuentran en un rango aproximado de 0.1 - 0.15, o incluso menores (para una revisión, ver Wearden y Lejeune, 2008). Utilizando una fracción de Weber de 0.1 y una duración estándar de 500 ms, la duración $c1$ se seleccionó como $500 \cdot (1 - 4 \cdot 0.1)$ y la duración $c9$ como $500 \cdot (1 + 4 \cdot 0.1)$, resultando en $c1 = 300$, y $c9 = 700$. Iniciando de $c1$ cada nivel incrementó 50 ms para cubrir el rango de los 700 ms. Por lo tanto, las duraciones comparativas del estímulo meta se distribuyeron de manera simétrica alrededor de la duración del estímulo estándar: 300, 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650 y 700 ms.

Tomando como referencia los resultados de Dyjas, Bausenhart, y Ulrich (2012), la tarea de recordatorio fue utilizada, en la cual la duración estándar siempre precede a la duración comparativa. Este procedimiento se realizó para controlar los efectos de orden Tipo B en la sensibilidad en la discriminación temporal. Los efectos de orden Tipo B ocurren al modificar el orden de presentación de los estímulos estándar y los estímulos meta. Adicionalmente, este control evitó los efectos secuenciales, los cuales están condicionados al ensayo precedente y afectan el PIS. Estas son las principales razones por

las cuales siempre se presentó el estímulo meta en la última posición de la secuencia de estímulos y no se presentaron estímulos estándar adicionales después de su presentación.

Cada sesión experimental consistió de 90 ensayos divididos en diez bloques de nueve ensayos. Cada ensayo de todas las condiciones experimentales se estructuró de la siguiente manera: un punto de fijación se presentaba en el centro de la pantalla con un ángulo visual de 0.38° . Después de 800 ms, el primer estímulo estándar se presentaba, seguido de los estímulos estándar restantes. Subsecuentemente, se presentaba el estímulo meta con una duración comparativa seleccionada aleatoriamente de las nueve posibles duraciones. Cada duración comparativa tenía $1/9$ de probabilidad de ser presentada, sin remplazo, para los nueve ensayos de cada bloque. Por lo tanto, en un bloque cada duración comparativa de los estímulos meta se presentó una sola vez. El IEE tenía una duración de 300 ms. El punto de fijación permanecía visible durante todo el ensayo y desaparecía después de la presentación del estímulo meta para después registrar la respuesta del participante. Todos los participantes completaron un bloque de práctica y nueve bloques experimentales. Desde el punto de vista de los participantes, el bloque de práctica era indistinguible de los bloques experimentales. Estos datos se excluyeron del análisis. En total, cada participante respondió 324 ensayos experimentales (81 ensayos por condición) y 36 ensayos de práctica (9 ensayos por condición).

Procedimiento

El experimento se llevó a cabo en un cuarto silencioso y tenuemente iluminado. Durante cuatro días consecutivos, según el ordenamiento asignado, los participantes realizaron una sesión experimental por día. Al inicio de cada sesión experimental

recibieron instrucciones verbales y escritas. A los participantes se les indicó que tenían que hacer un juicio de duración respecto a si consideraban que la duración del último estímulo de la serie (estímulo meta) era “más corta” o “más larga” que la duración de los cuatro estímulos anteriores (estímulos estándar). A la vez, se les informó que los primeros cuatro estímulos tenían una duración constante y que sólo la duración del quinto estímulo variaba. Se les advirtió que la tarea podría ser complicada, por lo que tenían que dejarse llevar por su impresión subjetiva. Finalmente, se les solicitó que observaran el punto de fijación durante toda la presentación de la secuencia de estímulos.

En cada ensayo, observaban la presentación secuencial de cinco estímulos en el centro de la pantalla, un estímulo a la vez, y juzgaban el último estímulo de la serie. Al presentarse el último estímulo de la serie, 300 ms después, se presentaba una clave para indicar que tenían que dar su respuesta. Para dar la respuesta, presionaban la flecha izquierda o derecha del teclado para indicar si la duración del último estímulo había sido más corta o larga en comparación con la duración de los primeros cuatro estímulos. Al registrar la respuesta del participante, el siguiente ensayo comenzaba 800 ms después. Los participantes no recibieron ningún tipo de retroalimentación de sus respuestas. En todas las sesiones experimentales, el primer bloque de ensayos era de práctica. Después de cada bloque, los participantes podían hacer una pausa para relajarse y volver a enfocar la atención. Todas las pausas entre los bloques eran terminadas por los participantes presionando la barra espaciadora del teclado.

Análisis de datos

La Distorsión Relativa de la Duración (DRD) fue la principal variable dependiente. La DRD representa el porcentaje de la magnitud del EOT en relación al PIS. El PIS es la duración del estímulo meta que tiene la misma probabilidad (.50) de ser juzgada como ‘más corta’ o ‘más larga’ que la duración estándar (PIS = $x_{.50}$). Este procedimiento ofrece una estimación de la duración del estímulo meta que se percibe como igual a la duración constante del estímulo estándar. Mientras menor sea el valor del PIS, la tendencia de sobreestimar en duración un estímulo meta es más pronunciada. Para obtener el PIS, se ajustaron funciones logísticas de manera individual a los datos de cada participante obtenidos en las cuatro condiciones experimentales. Los ajustes de las funciones logísticas se calcularon de acuerdo a la siguiente ecuación (Beckmann y Young, 2009):

$$y = \frac{1}{1 + e^{-(s*(t-b))}}$$

en donde t es la duración, s es el parámetro de sensibilidad responsable de la pendiente de la función, y b es el parámetro de sesgo indicando el PIS (responsable de los desplazamientos a la derecha o izquierda de la función). Para estimar los parámetros se utilizó la función *nls* (*Nonlinear Least Squares*) del software estadístico R. La función no lineal de mínimos cuadrados (Bates y Watts, 1988) se utilizó para estimar los parámetros mediante el paquete *nls* del programa estadístico R (*R Development Core Team*, 2008). A la vez, mediante los ajustes de cada una de las funciones psicométricas se calculó el Umbral Diferencial (UD) como indicador de la sensibilidad en la discriminación temporal. El UD es la mitad de la diferencia entre la duración de los estímulos meta juzgada el 75% de los ensayos como “más larga” menos la duración juzgada el 25% de los ensayos como “más larga” ($UD = [x_{.75} - x_{.25}]/2$).

Después de obtener el PIS, se calculó la DRD del estímulo meta de la misma manera que Cai et al. (2015) mediante la siguiente ecuación:

$$DRD = \frac{t_{sta} - PIS}{PIS}$$

donde t_{sta} es la duración del estímulo estándar. Por ejemplo, con una duración estándar de 500ms y un PIS de 460ms, obtendríamos una DRD de 0.08. Esto significa que un estímulo meta de 460ms de duración se juzgó como de 500ms. Por lo tanto, la DRD indicaría que la duración del estímulo meta se percibió como 8% más larga de lo que objetivamente es.

3.2. Resultados

Ajustes de las funciones logísticas

La proporción de los juicios “más largo” de los estímulos meta para cada una de las nueve duraciones a comparar por los participantes, junto con los ajustes de las funciones logísticas de las cuatro condiciones experimentales se muestran en la Figura 9. En la figura, se observa un desplazamiento de las funciones psicométricas hacia la izquierda, lo que indica que el estímulo meta fue sobreestimado en comparación con el estímulo estándar (500 ms). Estas funciones psicométricas de las cuatro condiciones experimentales son sólo ilustrativas; los valores individuales del PIS, de la DRD y del UD que se utilizaron para los análisis estadísticos provienen de los ajustes de funciones individuales de cada participante.

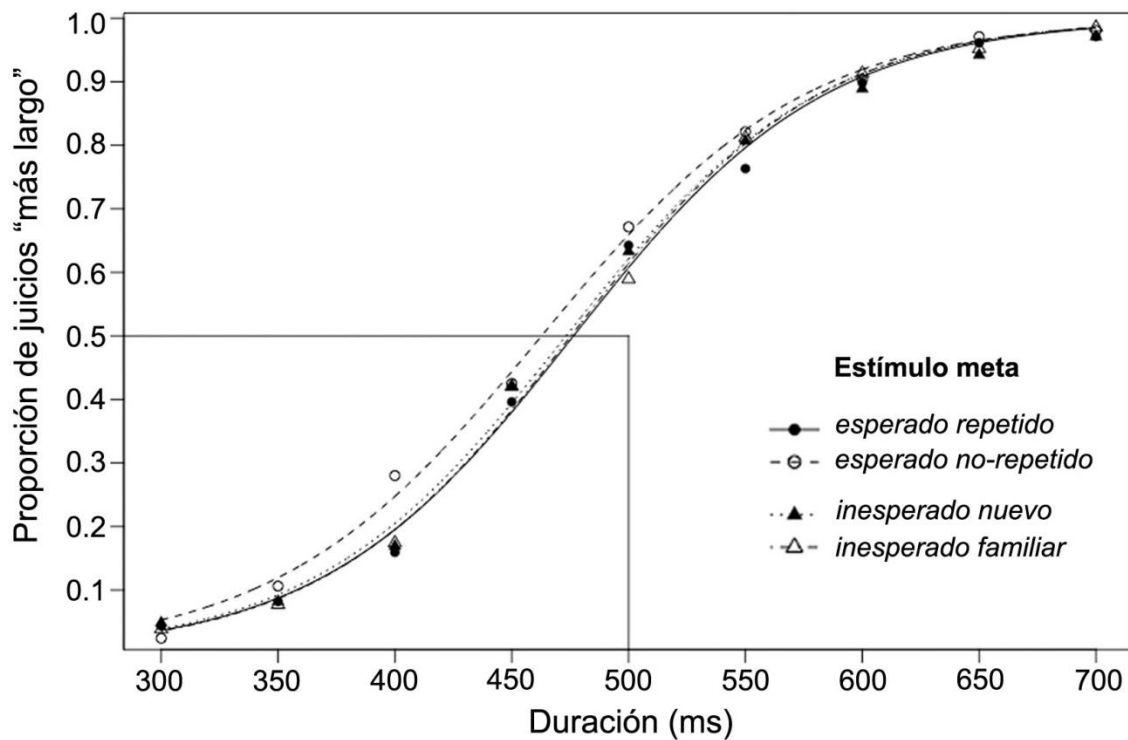


Figura 9. La duración percibida es influenciada por estímulos meta esperados e inesperados. Se muestra la proporción de juicios “más largo” para cada duración del estímulo meta y el ajuste de las curvas psicométricas grupales de cada una de las condiciones experimentales.

Respecto a la distribución de los datos obtenidos del PIS, el diagrama de caja (Figura 10) permite observar que la mayoría de los datos en las cuatro condiciones experimentales se encuentran debajo de 500 ms. De la misma forma, se observa que las cajas no están fuertemente sesgadas, la mediana se encuentra relativamente en el centro de las cajas, sugiriendo razonable asimetría en la distribución de los datos. En general, la dispersión de los datos sobre el PIS en cada una de las condiciones experimentales es estrecha, en donde la mayoría de los datos se encuentran entre 425 y 525 ms.

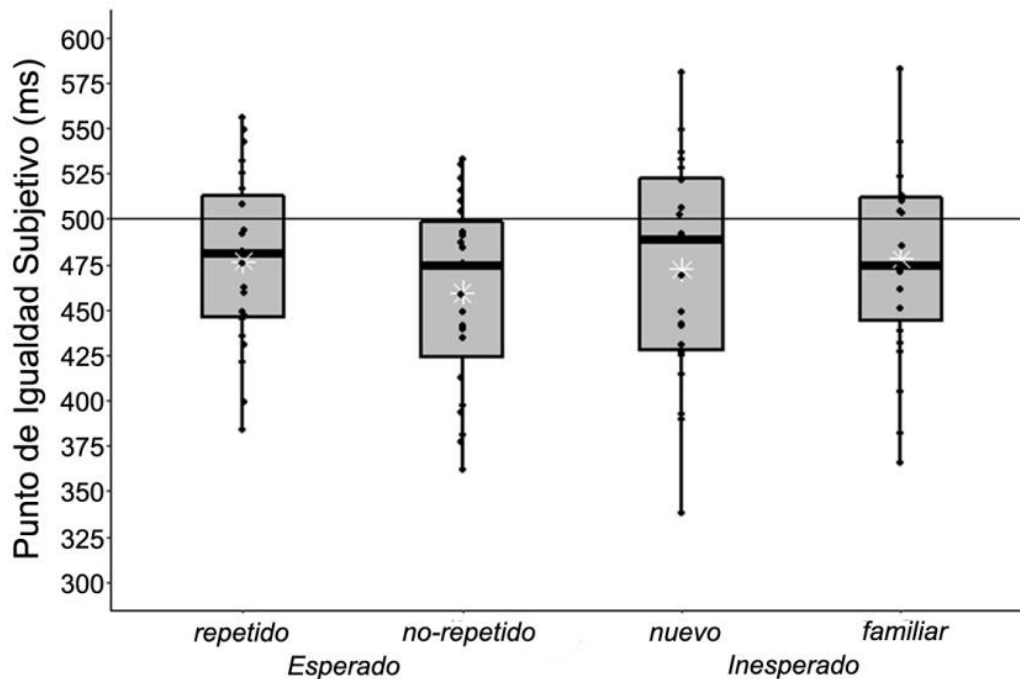


Figura 10. Diagrama de caja con los datos del PIS; los puntos dentro de las cajas y bigotes denotan los valores individuales de cada participante. Para cada condición experimental, se presenta la media (asterisco blanco), la mediana, el primer cuartil, el tercer cuartil y los límites superiores e inferiores de la distribución de los datos en donde no se observan valores atípicos.

Para conocer la magnitud del EOT en cada condición experimental y para realizar los contrastes ortogonales planeados los datos individuales del PIS se utilizaron para calcular la DRD. Sin embargo, primero se calcularon las medias aritméticas y las medias geométricas del PIS con sus respectivos intervalos de confianza, con un nivel de confianza del 95%. Se observó que tanto las medias aritméticas como las medias geométricas del PIS de las cuatro condiciones experimentales cayeron dentro de sus respectivos intervalos de confianza. Aunque tradicionalmente en psicofísica se utilizan las medias geométricas, en la literatura sobre el EOT se reportan las medias aritméticas, el error estándar de la media (EEM) y sus intervalos de confianza. En la Tabla 1 se reportan las medias geométricas y

las medias aritméticas del PIS obtenidas de cada condición experimental y siguiendo la tradición de la literatura sobre el EOT sólo se reportan el EEM y los intervalos de confianza de las medias aritméticas. Con relación al desplazamiento hacia la izquierda observado en las funciones psicométricas (Figura 9), las medias aritméticas obtenidas del PIS muestran que duraciones más cortas del estímulo meta se percibieron como de igual duración a la duración estándar (500 ms). Los análisis realizados con la DRD se presentarán más adelante.

Tabla 1. La media geométrica y la media aritmética del PIS en milisegundos de cada condición experimental. Se reportan el error estándar de la media aritmética y sus intervalos de confianza.

Condición experimental	Punto de Igualdad Subjetivo PIS			Intervalos de confianza	
	Media geométrica	Media aritmética	± EEM	Mínimo	Máximo
<i>Esperado repetido</i>	474	477	9.86	469	484
<i>Esperado no-repetido</i>	456	459	10.93	456	469
<i>Inesperado nuevo</i>	468	472	12.53	466	480
<i>Inesperado familiar</i>	475	478	11.13	469	481

Por otra parte, se consideró relevante analizar el error estándar residual (EER) obtenido de los ajustes individuales de cada condición experimental. Esto se realizó para garantizar que las posibles diferencias en la DRD no se deban a un sesgo en la bondad del ajuste, sino específicamente, a la manipulación de las variables independientes. La Figura 11 permite observar que la dispersión de los datos del EER en cada una de las condiciones experimentales es estrecha. Los valores más cercanos a 0 indican que la bondad del ajuste fue mejor.

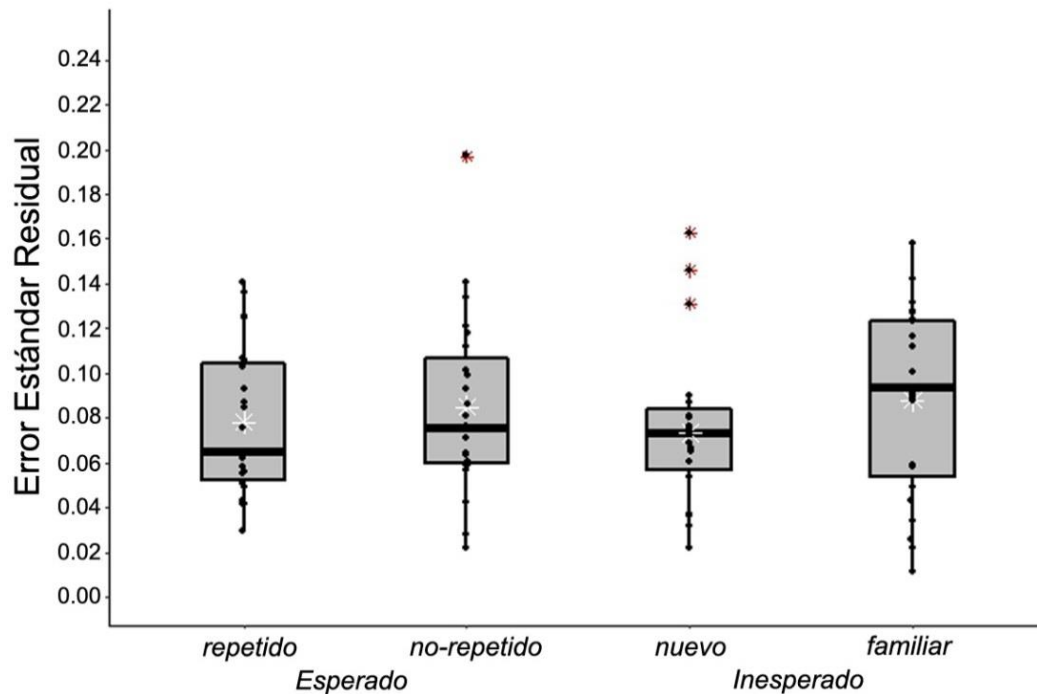


Figura 11. Diagrama de caja con los datos del EER; los puntos dentro de las cajas y bigotes denotan los valores individuales de cada participante. Se presenta la media (asterisco blanco), la mediana, el primer cuartil, el tercer cuartil y los límites superiores e inferiores de la distribución de los datos. Los datos que se observan fuera de los límites superiores (*) son valores atípicos en la distribución.

Como se explicó en la sección de análisis de datos, para conocer la magnitud del EOT se calculó la DRD, la cual es la principal variable dependiente de la presente investigación. Para conocer si las medidas obtenidas de la DRD era significativamente mayor a cero, se realizaron pruebas *t* de *Student* unilaterales de una muestra con la DRD obtenida en cada una de las cuatro condiciones experimentales. En la Tabla 2 se presentan tanto las medias obtenidas en porcentaje de la DRD y el EER, como los resultados de las pruebas *t* de *Student*. Las diferencias se consideraron significativas ajustando los valores a $p < 0.01$ mediante la corrección de Bonferroni debido a las múltiples comparaciones

realizadas. Los valores obtenidos de la DRD fueron significativamente mayores a cero, lo que confirma la ocurrencia del EOT en todas las condiciones experimentales.

Tabla 2. La Distorsión Relativa de la Duración, el error estándar de la media y la significancia de las pruebas *t* de *Student* unilateral de una muestra de cada condición experimental.

Condición experimental	Distorsión Relativa de la Duración DRD		<i>t</i> de <i>Student</i> unilateral	
	Media	± EEM	t_{22}	<i>p</i>
<i>Esperado repetido</i>	5.8%	2.2%	2.616	= 0.007 ***
<i>Esperado no-repetido</i>	10.2%	2.7%	3.699	< 0.001 ***
<i>Inesperado nuevo</i>	7.6%	3.0%	2.481	= 0.01 *
<i>Inesperado familiar</i>	5.9%	2.6%	2.267	= 0.01 *

Para poner a prueba las hipótesis experimentales de la presente investigación se realizaron tres contrastes planeados ortogonales. Debido a que los contrastes planeados ortogonales derivaron de hipótesis independientes específicas, no se realizó ningún tipo de ajuste al intervalo de confianza elegido de 95% (Quinn y Keough, 2002). Al no hacer comparaciones innecesarias, los contrastes planeados evitan cometer errores Tipo I (Ruxton y Beauchamp, 2008). Por otra parte, es importante mencionar que a diferencia de los contrastes post-hoc, el resultado del ANOVA global no necesita manifestar diferencias significativas para realizar los contrastes planeados (Quinn y Keough, 2002; Ruxton y Beauchamp, 2008). En este sentido, el ANOVA de medidas repetidas se realiza para obtener el cuadrado medio del error -MS_{Residual}- (Quinn y Keough, 2002; p. 199). Sin embargo, para evitar sesgos importantes en las pruebas *F* de los contrastes planeados, el ANOVA univariado de medidas repetidas debe cumplir el supuesto de esfericidad (Boik, 1981). Tomando esta importante consideración, el ANOVA univariado de medidas repetidas que se realizó $F(3, 66) = 1.847, p = 0.14$, cumplió el supuesto de esfericidad $\chi^2(5) = 7.306, p = 0.2$, por lo que no fue necesario ajustar los grados de libertad. De esta forma,

es posible utilizar de manera directa el cuadrado medio del error obtenido del ANOVA para calcular los errores estándar de los contrastes planeados (Quinn y Keough, 2002; p. 285).

El primer contraste planeado comparó la DRD entre las condiciones de estímulos meta esperados e inesperados. Como se esperaba, no se observó una diferencia significativa en la DRD entre los estímulos meta esperados e inesperados, $F(1, 66) = 0.726$, $p = 0.39$. El segundo contraste comparó la DRD entre las condiciones de estímulos meta esperados: *esperado repetido* (menos saliente) y *esperado no-repetido* (más saliente). Como se planteó, la saliencia de los estímulos meta esperados incrementaron significativamente la DRD, $F(1, 66) = 4.204$, $p = 0.04$. El tercer contraste comparó la DRD entre las condiciones de estímulos meta inesperados: *inesperado familiar* (menos saliente) e *inesperado nuevo* (más saliente). Contrario a la hipótesis planteada, no se observó un efecto significativo de la saliencia de los estímulos meta inesperados en la DRD, $F(1, 66) = 0.61$, $p = 0.43$. Por lo tanto, la saliencia de los estímulos meta esperados moduló la magnitud del EOT, pero no tuvo un efecto significativo en los estímulos meta inesperados. La significancia obtenida de los tres contrastes planeados se muestra en la Figura 12.

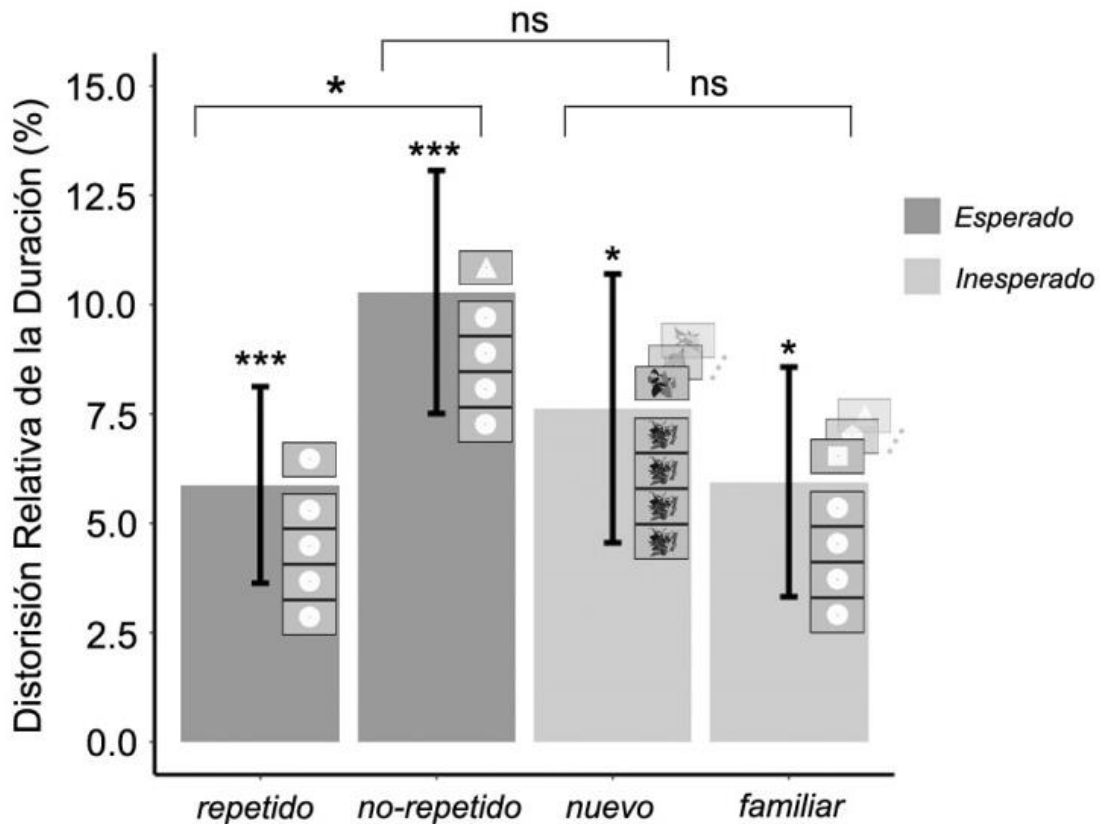


Figura 12. Media y EEM de la DRD en las condiciones experimentales de estímulos meta esperados e inesperados. Se muestra el nivel de significancia de los tres contrastes planeados ortogonales correspondientes a las hipótesis experimentales y la significancia obtenida en cada condición experimental mediante prueba *t* de *Student* unilateral de una muestra que denota la ocurrencia del EOT.

Respecto a la sensibilidad en la discriminación temporal (UD), en la Tabla 3 se reporta la media en milisegundos y el EER que se obtuvo en cada condición experimental, así como los resultados de las pruebas *t* de *Student* bilateral de una muestra. En torno a lo que se espera del UD, al ser una fracción constante de la intensidad del estímulo base (500 ms), los valores obtenidos de las pruebas *t* de *Student* no fueron significativamente

diferentes a 50 ms. Debido a las múltiples comparaciones realizadas, se utilizó la corrección de Bonferroni para ajustar el nivel de significación a $p < 0.01$.

Tabla 3. La media del UD en milisegundos y el EEM obtenido de cada condición experimental y la significancia de las pruebas *t* de Student bilateral de una muestra.

Condición experimental	Umbral Diferencial UD		<i>t</i> de Student bilateral	
	Media	± EEM	t_{22}	p
<i>Esperado repetido</i>	53	3.98	0.709	= 0.486
<i>Esperado no-repetido</i>	46	3.86	-0.989	= 0.333
<i>Inesperado nuevo</i>	46	5.31	-0.712	= 0.484
<i>Inesperado familiar</i>	42	3.78	-2.041	= 0.053

Por otra parte, se realizó un ANOVA univariado de medidas repetidas del UD el cual indicó que los distintos estímulos meta utilizados en las condiciones experimentales no provocaron diferencias significativas en el UD, $F(3, 66) = 1.432$, $p = 0.24$ (Figura 13). Por lo tanto, la sensibilidad de discriminación temporal no varió entre las condiciones experimentales.

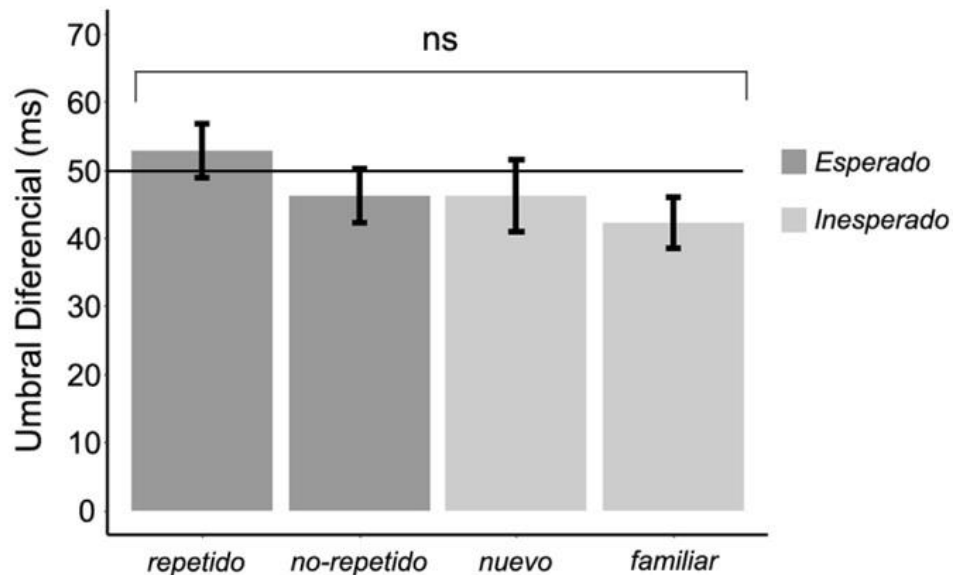


Figura 13. Media en milisegundos del UD y el EEM de las cuatro condiciones experimentales. Se señala la fracción constante esperada (50 ms) con relación a la intensidad del estímulo base (500 ms). Se muestra el resultado del ANOVA univariado de medidas repetidas.

3.3. Discusión

El Experimento 1, en el que se utilizó una escala temporal corta de presentación de los estímulos (500 ms), reveló que los estímulos meta esperados e inesperados incrementaron la duración percibida en la misma medida. De la misma forma, no tuvieron alguna influencia en la sensibilidad de la discriminación temporal. Los resultados coinciden con la hipótesis sobre la importancia de la atención *top-down* dirigida hacia los estímulos meta para provocar el EOT, y no apoyan como factor explicativo a las características inesperadas de los estímulos (Lin y Shimojo, 2017). En cambio, son contundentes con la idea de que la atención *top-down* hacia los estímulos meta aumenta el procesamiento de información perceptual relevante para la tarea y en consecuencia incrementa la duración percibida.

En la condición experimental *esperado repetido*, aunque el estímulo meta era idéntico en sus características físicas al estímulo estándar se presentó el EOT. Considerando que los estímulos estándar también eran esperados, este hallazgo contribuye a la propuesta respecto a que la atención *top-down* hacia los estímulos meta a veces es suficiente para explicar el EOT. Sin embargo, se observaron diferencias significativas en la magnitud del EOT entre las condiciones experimentales *esperado repetido* y *esperado no-repetido*. Posiblemente, la contribución adicional de la saliencia de los estímulos meta, en relación a su distintividad entre los estímulos estándar, facilitó su detección y extracción de la información perceptual relevante para la tarea incrementando rápidamente la magnitud

del EOT. En este sentido se plantea que la anticipación de las características físicas de los estímulos relevantes para la tarea en interacción con la saliencia, permiten un rápido procesamiento de la información sensorial incrementando en mayor medida la duración percibida.

Respecto a las condiciones experimentales de los estímulos inesperados, los estímulos meta familiares y nuevos también fueron sobreestimados en la misma medida. Estos resultados replican investigaciones anteriores donde no se ha observado un efecto de los estímulos inesperados salientes en el EOT (Pariyadath y Eagleman, 2007; Schindel et al., 2011). Posiblemente, a diferencia de los estímulos meta esperados, los estímulos meta inesperados y salientes necesitan mayor tiempo de procesamiento para extraer mayor información perceptual e incrementar significativamente el EOT.

En conjunto, estos hallazgos respecto a los estímulos meta esperados e inesperados coinciden con lo que se ha propuesto respecto a la priorización de la información perceptual mediada por la tarea y mediada por la saliencia durante procesos atencionales *top-down* (Horstmann y Herwing, 2016). La atención *top-down* dirigida hacia la información relevante para la tarea se procesa rápidamente, y durante una fase posterior la atención es guiada por factores exógenos requiriendo de mayor tiempo de exposición de los estímulos (Ansorge et al., 2010). Por lo tanto, es posible que se presente un patrón diferente de resultados a los aquí reportados al modificar la escala temporal de presentación de los estímulos. El Experimento 2, replicó el Experimento 1 pero duplicando la escala de presentación de los estímulos con el objetivo de esclarecer esta hipótesis.

4. Experimento 2

El Experimento 1 sugirió que usando una escala temporal corta de presentación de los estímulos (500 ms), los estímulos meta esperados e inesperados causaron el EOT en la misma medida. La saliencia de los estímulos meta moduló la magnitud del efecto pero sólo con los estímulos meta esperados. En el presente experimento, al duplicar la escala temporal de presentación de los estímulos (1000 ms) se pusieron a prueba estas hipótesis. Primero, si la atención *top-down* es el principal mecanismo explicativo del EOT, al incrementar la escala temporal de presentación de estímulos se debe preservar el mismo patrón de resultados respecto a la sobreestimación de los estímulos meta esperados e inesperados. Segundo, si la saliencia de los estímulos meta esperados incrementa la magnitud del EOT, al incrementar la escala temporal de presentación de estímulos se debe observar el mismo patrón de resultados. Tercero, si las características salientes de los estímulos meta inesperados requieren de más tiempo de procesamiento para extraer mayor información perceptual, al usar una escala temporal de presentación de los estímulos más larga deberán incrementar el EOT en mayor medida.

4.1. Método

Participantes

Una nueva muestra de treinta miembros del Instituto de Biotecnología (IBt) de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM) participaron en el experimento. Cuatro participantes se excluyeron de la muestra, debido a que presentaron funciones psicométricas aplanadas ($n = 2$), o porque no se presentaron a todas las sesiones experimentales ($n = 2$). La muestra final fue de veintiséis participantes (16 mujeres, con un

rango de edad de 27 – 66 años, $M = 48.7$ años). Tres participantes reportaron ser zurdos, y todos tenían una agudeza visual normal o corregida. Ninguno de los participantes tenía conocimiento sobre el objetivo de la investigación. Al igual que en el Experimento 1, cada sesión experimental duró aproximadamente 15 minutos y los participantes realizaron una sesión durante cuatro días consecutivos. Los participantes no recibieron ningún tipo de compensación económica o créditos en algún curso. Previo al experimento, todos los participantes otorgaron un consentimiento verbal informado de acuerdo con los principios éticos de la Declaración de Helsinki.

Aparatos, estímulos, procedimiento, diseño experimental y análisis de datos

Excepto por la duración de los estímulos estándar y de los estímulos meta, el Experimento 2 fue idéntico al Experimento 1. La duración corta de 500 ms de los estímulos estándar se sustituyó por una duración larga de 1000 ms. Las duraciones de los estímulos meta se distribuyeron simétricamente en torno a la duración del estímulo estándar: 600, 700, 800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400 ms.

4.2. Resultados

Ajustes de las funciones logísticas

En la Figura 14 se muestran la proporción de los juicios “más largo” de los estímulos meta para cada una de las nueve duraciones a comparar por los participantes, junto con los ajustes de las funciones logísticas de las cuatro condiciones experimentales. Las funciones psicométricas están desplazadas hacia la izquierda, lo que sugiere que el EOT ocurrió en todas las condiciones experimentales. En otras palabras, una duración más corta del estímulo meta se percibió como de la misma duración que la de los estímulos

estándar (1000 ms). Estas funciones psicométricas son ilustrativas, debido a que los valores individuales del PIS y UD que se utilizaron para los siguientes análisis provienen de los ajustes de funciones individuales de cada participante.

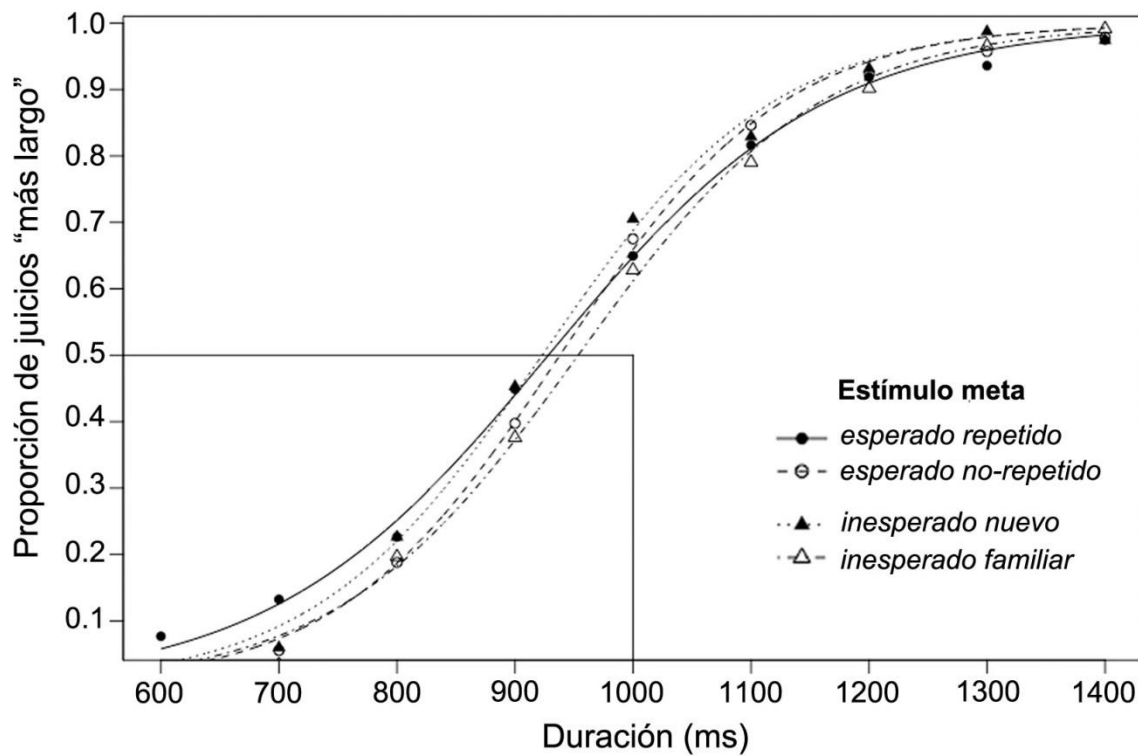


Figura 14. La duración percibida es influenciada por estímulos meta esperados e inesperados. Se muestra la proporción de juicios “más largo” para cada duración del estímulo meta junto con el ajuste de las funciones psicométricas de cada condición experimental considerando a los datos de los 26 participantes.

Respecto a la distribución de los datos obtenidos del PIS, en el diagrama de caja (Figura 15) se observa que la mayoría de los datos en las cuatro condiciones experimentales se encuentran debajo de 1000 ms. A la vez, se observa una razonable asimetría en la distribución de los datos, en donde la mayoría de los datos se encuentran entre 875 y 1100 ms.

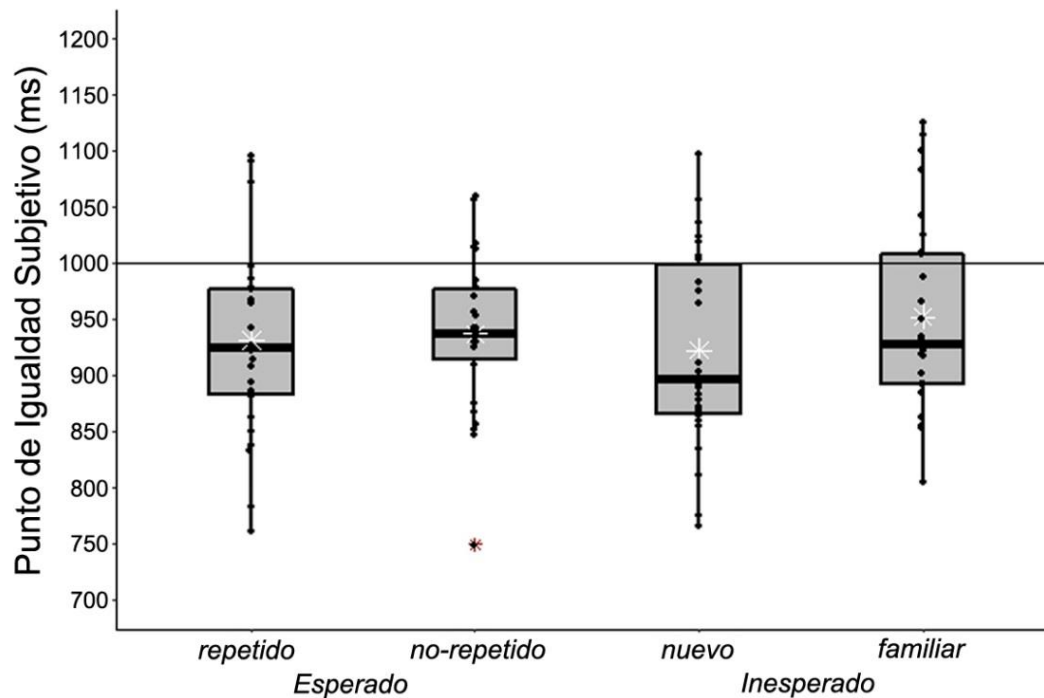


Figura 15. Diagrama de caja y bigotes del PIS; los puntos dentro de las cajas y bigotes denotan los valores individuales de cada participante. Se presenta la media (asterisco blanco), la mediana, el primer cuartil, el tercer cuartil y los límites superiores e inferiores de la distribución de los datos. El dato que se observa fuera de los límites superiores (*) es un valor atípico en la distribución.

Al igual que en el Experimento 1, para conocer la magnitud del EOT en cada condición experimental y para realizar los contrastes ortogonales planeados los datos del PIS se utilizaron para calcular la DRD. Sin embargo, primero se calcularon las medias aritméticas y las medias geométricas del PIS con sus respectivos intervalos de confianza, con un nivel de confianza del 95%. Se observó que tanto las medias aritméticas como las medias geométricas del PIS de las cuatro condiciones experimentales cayeron dentro de sus respectivos intervalos de confianza. En la Tabla 4 se reportan las medias geométricas y las medias aritméticas del PIS obtenidas de cada condición experimental y siguiendo la tradición de la literatura sobre el EOT sólo se reportan el EEM y los intervalos de

confianza de las medias aritméticas. Con relación al desplazamiento hacia la izquierda observado en las funciones psicométricas (Figura 14), las medias aritméticas obtenidas del PIS muestran que duraciones más cortas del estímulo meta se percibieron como de igual duración a la duración estándar (1000 ms). Los análisis realizados con la DRD se presentarán más adelante.

Tabla 4. La media geométrica y la media aritmética del PIS en milisegundos de cada condición experimental. Se reportan el error estándar de la media aritmética y sus intervalos de confianza.

Condición experimental	Punto de Igualdad Subjetivo PIS			Intervalos de confianza	
	Media geométrica	Media aritmética	± EEM	Mínimo	Máximo
<i>Esperado repetido</i>	928	932	16.5	918	938
<i>Esperado no-repetido</i>	935	938	13.5	929	946
<i>Inesperado nuevo</i>	919	923	17.2	910	935
<i>Inesperado familiar</i>	945	952	17.2	941	965

Se analizó el error estándar residual (EER) obtenido de los ajustes individuales de cada condición experimental para garantizar que las diferencias entre las condiciones experimentales no se deban a un posible sesgo en la bondad del ajuste. En la Figura 16 es posible observar que la dispersión de los datos del EER es estrecha, pues la mayoría de los datos se encuentran entre 0.05 y 0.12.

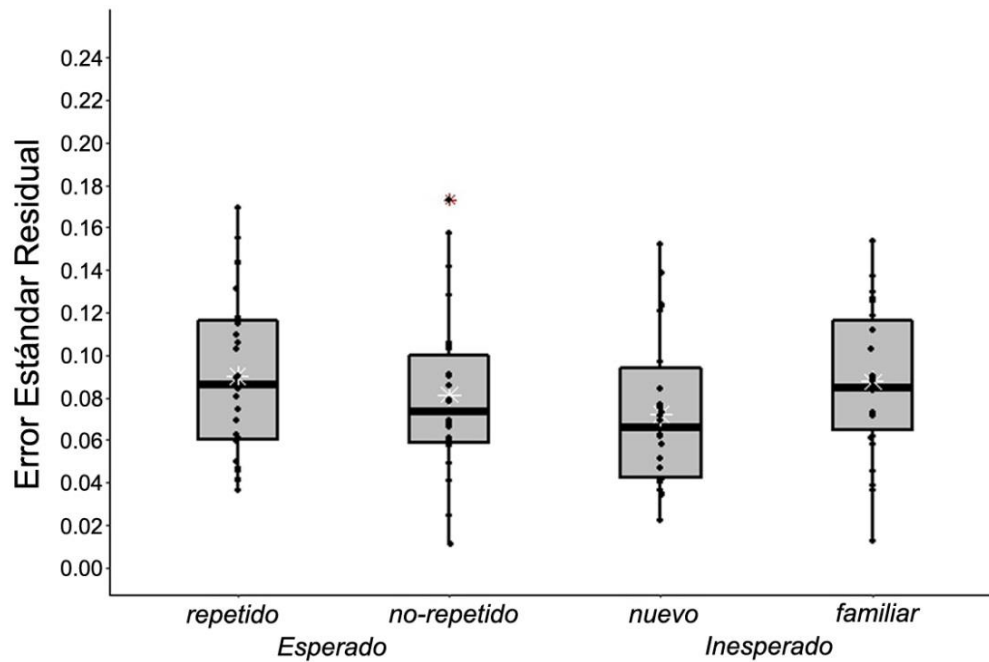


Figura 16. Diagrama de caja con los datos del EER; los puntos dentro de las cajas y bigotes denotan los valores individuales de cada participante. Se presenta la media (asterisco blanco), la mediana, el primer cuartil, el tercer cuartil y los límites superiores e inferiores de la distribución de los datos. Los datos que se observan fuera de los límites superiores (*) son valores atípicos en la distribución.

Para conocer la magnitud del EOT se calculó la DRD con los valores individuales del PIS de cada participante correspondientes a cada condición experimental. En la Tabla 5 se muestra la media de la DRD en porcentaje y el EEM, junto con la significancia obtenida en cada prueba *t* de *Student* unilateral de una muestra de todas las condiciones experimentales. Las diferencias se consideraron significativas ajustando los valores a $p < 0.01$ mediante la corrección de Bonferroni debido a las múltiples comparaciones realizadas. Los valores obtenidos de la DRD fueron significativamente mayores a cero, lo que confirma la ocurrencia del EOT en todas las condiciones experimentales.

Tabla 5. La Distorsión Relativa de la Duración, el error estándar de la media y la significancia de las pruebas *t* de *Student* bilateral de una muestra de cada condición experimental.

Condición experimental	Distorsión Relativa de la Duración DRD		<i>t</i> de <i>Student</i> unilateral	
	Media	± EEM	<i>t</i> ₂₅	<i>p</i>
<i>Esperado repetido</i>	8.1%	1.9%	4.193	< 0.001 ***
<i>Esperado no-repetido</i>	7.2%	1.6%	4.401	< 0.001 ***
<i>Inesperado nuevo</i>	9.3%	2.0%	4.539	< 0.001 ***
<i>Inesperado familiar</i>	5.8%	1.8%	3.141	= 0.002 ***

Para poner a prueba las hipótesis planteadas utilizando una escala temporal larga de presentación de los estímulos, al igual que en el Experimento 1, se realizaron tres contrastes planeados ortogonales (Figura 17). Se realizó un ANOVA univariado de medidas repetidas $F(3, 75) = 1.508, p = 0.21$, el cual cumplió con el supuesto de esfericidad $\chi^2(5) = 3.940, p = 0.55$, por lo que no fue necesario ajustar los grados de libertad. Al igual que en el Experimento 1, en el primer contraste planeado no se observaron diferencias significativas en la DRD entre los estímulos meta esperados e inesperados, $F(1, 75) = 0.018, p = 0.89$. En el segundo contraste, contrario al resultado del Experimento 1 sobre efecto de la saliencia de los estímulos esperados, no hubo diferencias significativas en la DRD entre las condiciones *esperado repetido* y *esperado no-repetido*, $F(1, 75) = 0.313, p = 0.57$. Sin embargo, como se esperaba, al utilizar una escala temporal más larga de presentación de los estímulos, el tercer contraste entre las condiciones *inesperado nuevo* e *inesperado familiar*, reveló un efecto significativo de la saliencia de los estímulos meta inesperados en la magnitud de la DRD, $F(1, 75) = 4.184, p = 0.043$. Por lo tanto, a diferencia del Experimento 1, al incrementar la escala temporal de presentación

de los estímulos la saliencia de los estímulos meta sólo tuvo un efecto significativo cuando los estímulos meta eran inesperados en sus características físicas.

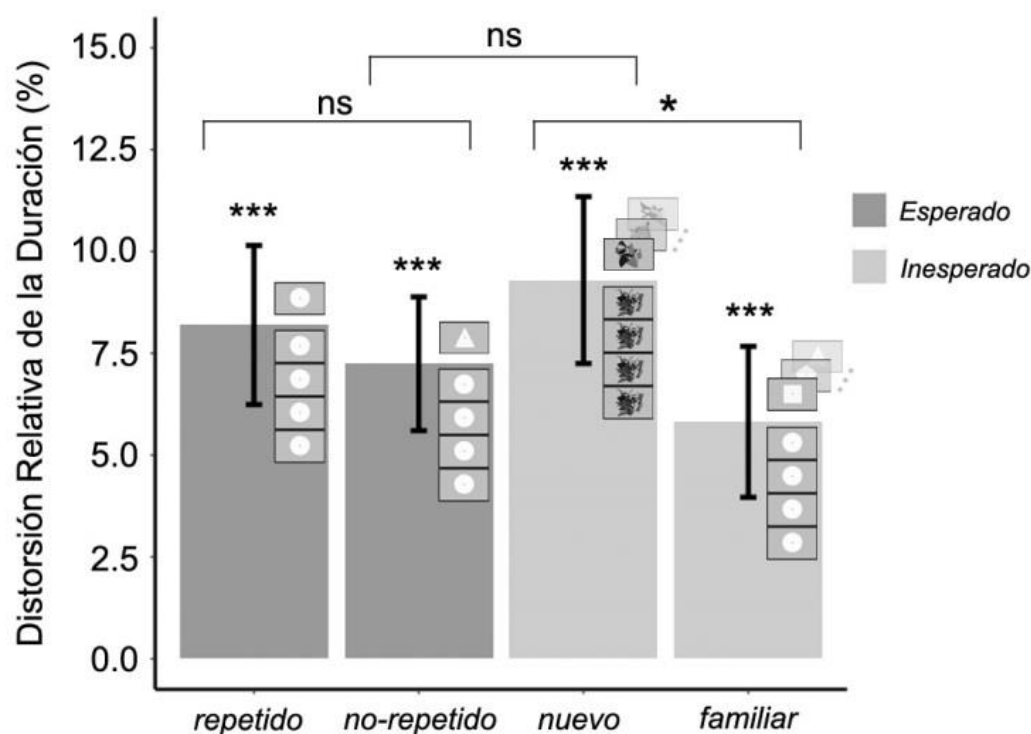


Figura 17. Media de la DRD de los estímulos meta esperados e inesperados utilizando una escala temporal larga (1000 ms) de presentación de los estímulos; las barras de error representan el error estándar de la media (EEM). Se muestra el nivel de significancia de la DRD obtenida en cada condición experimental, así como el nivel de significancia para cada uno de los tres contrastes planeados ortogonales.

Respecto a la sensibilidad en la discriminación temporal (UD), en la Tabla 6 se observa la media en milisegundos y el EER, así como los resultados de las pruebas *t* de Student bilateral de una muestra. Al igual que en el Experimento 1, los resultados concuerdan con lo que se espera respecto al UD, al ser una fracción constante de la intensidad del estímulo base (1000 ms), los valores obtenidos de las pruebas *t* de Student

no fueron significativamente diferentes a 100 ms. Se utilizó la corrección de Bonferroni para ajustar el nivel de significación a $p < 0.01$.

Tabla 6. La media del UD en milisegundos y el EEM obtenido de cada condición experimental y la significancia de las pruebas t de *Student* bilateral de una muestra.

Condición experimental	Umbral Diferencial UD		t de <i>Student</i> bilateral	
	Media	$\pm$ EEM	t_{25}	p
<i>Esperado repetido</i>	115	15.4	1.004	= 0.325
<i>Esperado no-repetido</i>	92	8.7	-0.953	= 0.350
<i>Inesperado nuevo</i>	88	5.4	-2.243	= 0.034
<i>Inesperado familiar</i>	94	8.7	-0.628	= 0.536

Por otra parte, se analizaron los efectos de los estímulos meta esperados e inesperados en el UD (Figura 18). Se realizó un ANOVA univariado de medidas repetidas en el que no se observaron diferencias significativas en el UD entre las cuatro condiciones experimentales, $F(2.025, 50.67) = 2.037$, $p = 0.14$, (con corrección épsilon de *Greenhouse-Geisser*). Al igual que en el Experimento 1, la sensibilidad de discriminación temporal no varió con relación al tipo de estímulo meta presentado en cada condición experimental.

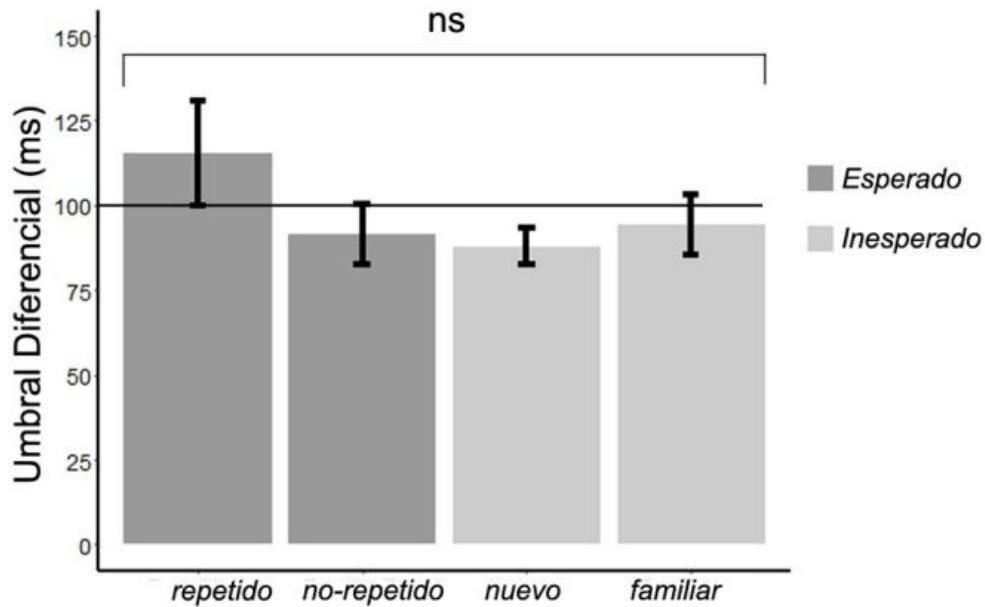


Figura 18. Media del UD obtenida en cada condición experimental; las barras representan el EEM. Se señala la fracción constante esperada (50 ms) con relación a la intensidad del estímulo base (1000 ms). Se muestra la significancia obtenida del ANOVA univariado de medidas repetidas.

4.3. Discusión

Al igual que en el Experimento 1, el Experimento 2 indicó que al usar una escala temporal larga de presentación de los estímulos los estímulos meta esperados e inesperados incrementaron la duración percibida. De la misma forma, no hubo diferencias significativas en la sensibilidad en la discriminación temporal. Sin embargo, de manera contraria a los resultados del Experimento 1, la saliencia de los estímulos meta esperados no moduló la magnitud del EOT, pero sí tuvo un efecto significativo en los estímulos meta inesperados. Por lo tanto, se sugiere que las ventajas perceptuales para rápidamente detectar y procesar los estímulos meta esperados y salientes en sus características físicas se eliminan al utilizar

una escala temporal larga de presentación de los estímulos. De manera contraria, se sugiere que el EOT incrementa en mayor medida con estímulos meta inesperados y salientes al utilizar una escala temporal larga de presentación de los estímulos debido a que es posible extraer más información perceptual del estímulo.

En conjunto, estos resultados sugieren que la duración percibida de un estímulo meta está estrechamente relacionada con la atención *top-down*. Cuando la atención *top-down* se dirige hacia un estímulo relevante para la tarea, la duración percibida depende de la velocidad de procesamiento perceptual y, en consecuencia, de la cantidad de información perceptual que se procesa durante una escala temporal específica.

5. Propiedades escalares del tiempo

Debido a que las escalas temporales de la presentación de estímulos usadas en la presente investigación mantienen una razón constante de 1:2, las propiedades escalares fueron analizadas. En el Experimento 2, en comparación a los valores obtenidos en el Experimento 1, al utilizar una escala temporal larga de presentación de los estímulos los valores del UD incrementaron. Sin embargo, para poner a prueba si la discriminación en la sensibilidad temporal se mantuvo constante a pesar de la variación en la escala temporal, se calcularon las fracciones de Weber dividiendo el UD entre el PIS de los datos individuales del Experimento 1 y el Experimento 2. Como se esperaba, las fracciones de Weber permanecieron constantes lo que significa que la discriminación en la sensibilidad temporal relativa permaneció aproximadamente constante (Tabla 7). Las fracciones de Weber obtenidas en la presente investigación son consistentes con los valores que se han reportado en la literatura respecto al desempeño de humanos en tareas temporales. Los valores reportados, frecuentemente, se encuentran en un rango entre 0.10 - 0.15 o incluso se han observado valores menores (para una revisión ver Wearden y Lejeune, 2008).

Tabla 7. La media de las fracciones de Weber y el error estándar de la media de cada condición experimental del Experimento 1 y del Experimento 2.

Condición experimental	Experimento 1 500 ms		Experimento 2 1000 ms	
	Media	± EEM	Media	± EEM
<i>Esperado repetido</i>	0.11	0.008	0.12	0.016
<i>Esperado no-repetido</i>	0.10	0.009	0.09	0.009
<i>Inesperado nuevo</i>	0.10	0.012	0.09	0.005
<i>Inesperado familiar</i>	0.08	0.008	0.10	0.009

Para analizar, desde otra perspectiva, las propiedades escalares del tiempo se utilizó el método de superposición. De esta forma, se graficó la proporción de respuestas de los juicios “más largo” de las diferentes duraciones en la misma escala relativa. Para obtener la escala relativa, se dividió el valor de cada una de las nueve duraciones del Experimento 1 y del Experimento 2 entre la media aritmética obtenida del PIS correspondiente a cada condición experimental. Como se observa en la Figura 19, los datos muestran una buena superposición.

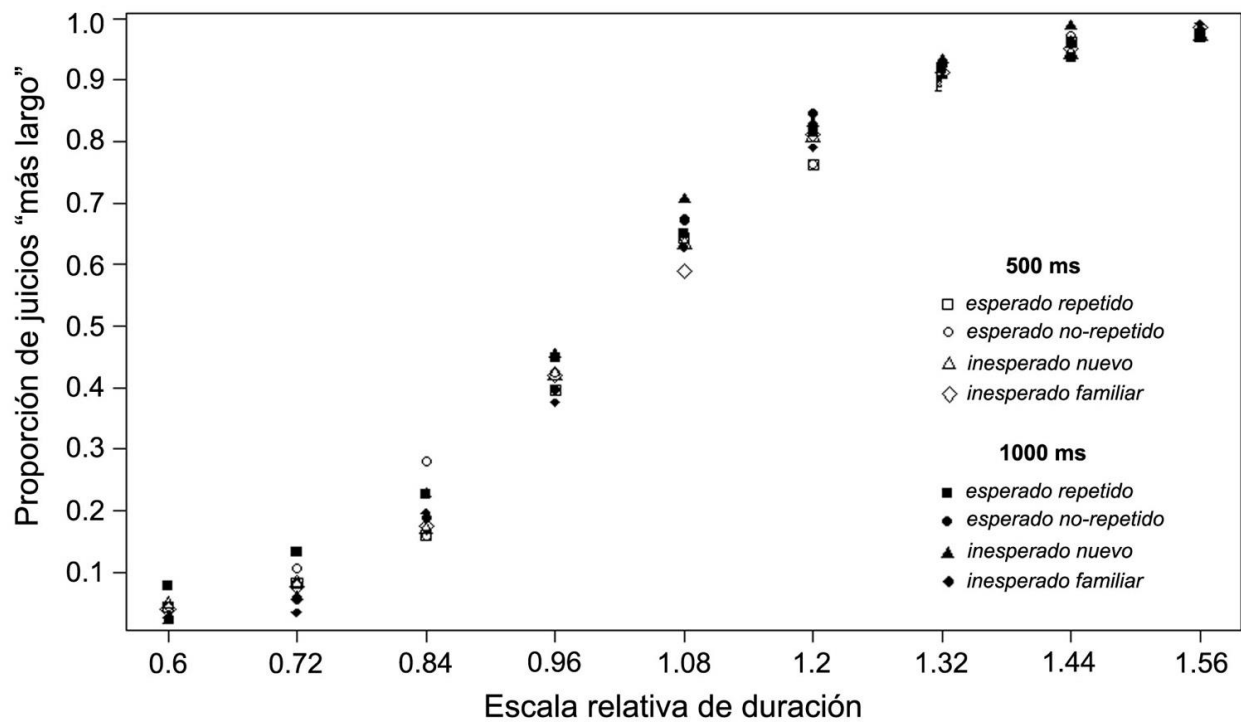


Figura 19. Se muestra la proporción de respuestas de juicios “más largo” graficadas con la misma escala relativa, correspondientes a cada condición experimental del Experimento 1 (500 ms) y del Experimento 2 (1000 ms).

6. Discusión general

El principal objetivo de la presente investigación fue analizar las contribuciones específicas de la saliencia y las expectativas hacia las características físicas de los estímulos meta en la ocurrencia y la modulación del EOT. Se realizaron dos experimentos, el primero, con una escala temporal corta de presentación de los estímulos (500 ms), y el segundo, con una escala temporal larga de presentación de los estímulos (1000 ms). En ambos experimentos, se manipularon la saliencia y las expectativas hacia las características de los estímulos meta utilizando la tarea *oddball* temporal. Tres principales hallazgos surgieron de la presente investigación, los cuales se describen a continuación.

Primero, los estímulos meta se sobreestimaron en duración en la misma medida sin importar si su naturaleza es esperada o inesperada por los observadores. Por lo tanto, se sugiere que la atención *top-down* dirigida hacia el procesamiento de los estímulos relevantes para la tarea parece ser un factor necesario para explicar la ocurrencia del EOT. Los efectos de las expectativas respecto a la repetición de un estímulo, los cuales supuestamente incrementan la duración percibida (Matthews, 2015; Skylark y Gheorghiu, 2017) sólo tuvieron un efecto cuando la atención *top-down* se dirigió hacia el procesamiento de un estímulo meta. En otras palabras, cuando un estímulo es relevante para la tarea y es esperado por los observadores en sus características físicas provoca la ocurrencia del EOT, incluso aunque éste sea idéntico a los estímulos estándar e igualmente esperados en sus características físicas.

Segundo, se observó una pequeña pero significativa contribución de la saliencia de los estímulos meta esperados e inesperados en la modulación de la magnitud del EOT. Sin

embargo, la contribución adicional de la saliencia fue dependiente de la escala temporal de presentación de los estímulos en conjunto con sus características esperadas o inesperadas por los observadores. En el Experimento 1, en donde se utilizó una escala temporal corta de presentación de los estímulos, los estímulos meta esperados y salientes incrementaron en mayor medida el EOT. Este experimento, sugiere que la saliencia de los estímulos meta, cuando sus características físicas son esperadas por los observadores, facilita dirigir la atención *top-down* acelerando el procesamiento de las características físicas anticipadas, lo cual incrementa la magnitud del EOT. Sin embargo, la saliencia de los estímulos inesperados no tuvo un efecto en la modulación de la magnitud del EOT. Por el contrario, en el Experimento 2, en donde se utilizó una escala temporal larga de presentación de los estímulos, la contribución de la saliencia de los estímulos meta esperados se desvaneció, pero sí tuvo un efecto en los estímulos meta inesperados incrementando la magnitud del EOT.

Este patrón de resultados, respecto a las características salientes esperadas e inesperadas de los estímulos meta, puede ser explicado por el hecho de que mediante la atención *top-down* se prioriza el procesamiento de la información, la cual es guiada por los requerimientos de la tarea (Bacon y Egeth, 1997; Einhäuser, Rutishauser, y Koch, 2008; Horstmann y Herwig, 2016). Por lo tanto, el procesamiento de las características del estímulo mediante procesos atencionales *bottom-up* sucede en una etapa posterior del procesamiento perceptual, requiriendo que los estímulos se presenten por más tiempo (Ansorge et al., 2010). Los estímulos nuevos, a diferencia de los estímulos familiares, demandan más recursos de procesamiento (Kahneman, 1973; Kok y de Jong, 1980; Segaeert, Weber, de Lange, Petersson y Hagoort, 2013; Reggev, Bein y Maril, 2016), especialmente,

cuando son juzgados como estímulos relevantes para la tarea (Chong, Riis, McGinnis, Williams, Holcomb y Daffner, 2008). Los estímulos nuevos requieren un procesamiento continuo después de su categorización inicial, la cual es asociada con una construcción gradual de la representación perceptual de las características del estímulo (Shaffer y Shiffrin, 1972; Kok y de Jong, 1980; Loftus, Nelson y Kallman, 1983; Loftus, 1985). Por lo tanto, se sugiere que la priorización de la información perceptual mediante mecanismos atencionales *top-down*, junto con las características intrínsecas del estímulo meta, determinarán la cantidad de información perceptual que se puede extraer en un intervalo específico y en consecuencia la magnitud del EOT.

Tercero, las propiedades escalares observadas al comparar los experimentos sugieren que un mecanismo temporal similar está involucrado durante la realización de juicios comparativos sobre la duración de los estímulos meta en la tarea *oddball* temporal. A la vez, la sensibilidad en la discriminación temporal permaneció constante en ambos experimentos y en todas las condiciones experimentales. Esto sugiere que el incremento en la tasa de procesamiento de información perceptual, mediante mecanismos atencionales *top-down*, no afecta la sensibilidad en la discriminación temporal. A la vez, tomando como referencia los resultados de Dyjas et al. (2012), debido a que el UD no difirió entre las condiciones experimentales, las diferencias observadas en la magnitud del EOT (en algunos de los contrastes planeados) deben tener un origen perceptual, en lugar de un origen relacionado con un sesgo decisional causado por los efectos secuenciales.

Como se mencionó anteriormente, las hipótesis explicativas basadas en las expectativas comparten la idea de que un estímulo *oddball* se percibe como de mayor duración porque es inesperado y los estímulos estándar se subestiman debido a que son

esperados. Por el contrario, los resultados de esta investigación permiten interpretar al EOT en términos de la influencia de la atención *top-down* dirigida hacia el procesamiento de estímulos relevantes para la tarea. Esta interpretación es consistente con las investigaciones previas que rechazan las características inesperadas de un estímulo como principal factor explicativo de la ocurrencia del EOT (van Wassenhove et al., 2008; New y Scholl, 2009; Lin y Shimojo, 2017).

Los presentes resultados son consistentes con los hallazgos de Lin y Shimojo (2017) respecto a los dos principales factores subyacentes del EOT. La atención *top-down* es un factor explicativo inherente del EOT, a veces suficiente y a veces necesario junto con la contribución adicional de la saliencia. La saliencia explica, hasta cierta medida, cómo la magnitud del EOT puede ser modulada. Se sugiere que la cantidad de información perceptual que se puede extraer de un estímulo meta, en un intervalo de tiempo específico, determinará hasta qué medida su duración será sobreestimada. Por lo tanto, es posible que la duración percibida de un estímulo pueda estar correlacionada con la cantidad de información perceptual relevante para la tarea procesada vía *bottom-up* pero guiada por un control atencional *top-down*. Por primera vez, la presente investigación permite plantear hipótesis en este sentido, por lo que se necesitará realizar futuras investigaciones para ponerla a prueba. Las implicaciones de estos hallazgos se discutirán a continuación con relación a las distintas teorías explicativas del fenómeno del EOT.

Hipótesis explicativas del EOT

La teoría atencional del EOT (Tse et al, 2004) sugiere que cuando la atención se dirige hacia un estímulo inesperado el procesamiento de la información perceptual

incrementa, y en consecuencia, su duración percibida se sobreestima. Esta teoría sugiere que las variables que incrementan la tasa de procesamiento de información perceptual de un estímulo, como su rareza, su saliencia, o el ser inesperado, deben incrementar la magnitud del EOT. En la presente investigación, el EOT ocurrió en la misma medida al presentar estímulos meta esperados e inesperados. Esta observación sugiere que la atención *top-down* dirigida hacia los estímulos relevantes para la tarea incrementan la duración percibida, sin importar si sus características físicas son esperadas o inesperadas. En concordancia con la hipótesis de que la saliencia de los estímulos es un factor adicional para modular la magnitud del EOT, se sugiere que ésta es dependiente de la escala temporal de los estímulos. Los presentes resultados concuerdan con la hipótesis atencional en términos de que la duración percibida de un estímulo depende de la tasa de procesamiento de la información perceptual. Sin embargo, se sugiere que la tasa de procesamiento de la información perceptual es mediada por mecanismos atencionales *top-down* hacia los estímulos relevantes para la tarea.

La teoría explicativa del EOT basada en el incremento de la activación fisiológica no podría explicar los resultados de la presente investigación. Por ejemplo, en la condición experimental de *esperado repetido* que se describió en esta investigación, en donde se presentó un estímulo meta repetido, el cual era idéntico en sus características físicas al estímulo estándar, también provocó el EOT. Esto sucedió incluso cuando los participantes prestaban atención a la misma ubicación espacial y percibían el mismo estímulo. La atención *top-down* dirigida hacia los estímulos relevantes para la una tarea incrementa el procesamiento de los componentes relevantes del estímulo en concordancia con los requerimientos de la tarea (Gilbert y Li, 2013). Por lo tanto, estos hallazgos sugieren que la

atención *top-down* es el principal mecanismo explicativo del EOT, el cual incrementa la tasa de procesamiento de la información perceptual, y en consecuencia, la duración percibida de un estímulo relevante para la tarea.

Por otra parte, la hipótesis explicativa de la eficiencia de la codificación del EOT sugiere que un estímulo repetido o esperado provoca una reducción en la duración percibida debido a que los estímulos se codifican de una manera eficiente (Pariyadath y Eagleman, 2012). Si los estímulos codificados de manera eficiente reducen la duración percibida, en la presente investigación, no hubiera ocurrido el EOT al presentar estímulos meta esperados. De hecho, como se mencionó anteriormente, no se observaron diferencias significativas en la magnitud del EOT al presentar estímulos meta esperados e inesperados. Por lo tanto, los resultados de la presente investigación están en conflicto con la teoría de la eficiencia de la codificación. Existe evidencia empírica adicional la cual apoya los resultados aquí reportados. Se ha observado una sobreestimación en la duración de un estímulo meta incluso si éste se presenta dentro de una serie de estímulos estándar con características físicas aleatorias e inesperadas (Cai et al., 2015; Lin y Shimojo, 2017). De hecho, los estímulos inesperados siempre provocan un incremento de la respuesta neuronal evocada, sin importar la relevancia del estímulo para la tarea (Courchesne et al., 1975; Kok, Rahnev, Jehee, Lau y de Lange, 2012). Si el EOT ocurriera debido al error predictivo evocado por los estímulos, no hubiera ocurrido bajo estas condiciones experimentales.

Adicionalmente, la hipótesis de la eficiencia de la codificación sugiere que la magnitud del EOT incrementa con relación al nivel de discrepancia entre los estímulos estándar y los estímulos meta debido al error predictivo que evocan (Schindel et al., 2011; Pariyadath y Eagleman, 2012). Este argumento puede explicarse mediante la contribución

adicional de la saliencia de los estímulos meta para modular la magnitud del EOT, la cual aunque fue pequeña, fue significativa. En este sentido, es posible plantear que el nivel de discrepancia entre los estímulos meta y los estímulos estándar determinará en qué medida el estímulo meta es más saliente y, en consecuencia, la magnitud del EOT depende de la escala temporal de presentación de los estímulos. Por todo lo anterior, se sugiere que la eficiencia de codificación de un estímulo no juega un papel crucial para determinar su duración percibida.

Los presentes hallazgos pueden ser explicados desde un marco teórico más amplio el cual es llamado ‘principio de procesamiento’ (Matthews y Gheorghiu, 2016; Matthews y Meck, 2016). El principio de procesamiento sugiere que la fuerza del *percepto*, en términos de la facilidad con que la información perceptual puede extraerse de un estímulo, determina la duración percibida. La fuerza del *percepto* depende de la interacción de procesos *top-down* y *bottom-up*. En general, el principio de procesamiento sugiere que: a) la simple repetición de un estímulo reduce la fuerza de la señal sensorial entrante debido a un proceso de adaptación o fatiga neuronal, el cual reduce su duración percibida; b) la saliencia de un estímulo, la cual puede definirse como la cantidad de cambio o la relevancia en relación al contexto (ej. intensidad, tamaño, magnitud, distintividad), se asocia con un incremento en la información sensorial entrante, la cual aumenta su duración percibida; y c) las expectativas respecto a un estímulo conllevan a un incremento en el procesamiento vía *top-down* de la señal sensorial asociada con las características anticipadas relevantes del estímulo, incrementando su duración percibida. Por lo tanto, la duración percibida depende de la interrelación entre la fuerza de la entrada sensorial vía *bottom-up* y la ganancia de control en el procesamiento vía *top-down* (Matthews, 2015).

Aunque los resultados de la presente investigación apoyan las hipótesis de la teoría del principio del procesamiento, también proporcionaron ciertas restricciones con relación a los efectos de la saliencia de los estímulos y, particularmente, de los efectos de las expectativas en la duración percibida.

Con relación a los efectos de la saliencia sugeridos por el principio de procesamiento, la repetición del estímulo estándar antes de la presentación del estímulo meta debería incrementar el EOT cuando esta repetición ayude a que el estímulo meta se “destaque” del contexto (Matthews y Meck, 2016). Sin embargo, los resultados de la presente investigación sugieren que la contribución adicional de las características salientes de los estímulos meta parecen depender de la escala temporal de presentación y de si éstos son esperados o inesperados por los observadores. Como se observó en el Experimento 1, se ha reportado que cuando se utiliza una escala temporal de presentación de los estímulos corta (500 ms), los estímulos meta salientes y esperados por los observadores incrementan en mayor medida la magnitud del EOT (van Wassenhove et al., 2008). Sin embargo, al igual que los resultados de la presente investigación, cuando los estímulos meta son inesperados y se presentan con una escala temporal corta, las características salientes no tienen ningún efecto en la modulación de la magnitud del EOT (Pariyadath y Eagleman, 2007; Schindel et al., 2011). En el Experimento 2, en el cual se utilizó una escala temporal de presentación de los estímulos larga (1000 ms), se observó un patrón opuesto de resultados en términos de los efectos de la saliencia en la modulación del EOT cuando se presentan estímulos meta esperados o inesperados.

Respecto a los efectos de las expectativas sobre un estímulo en la duración percibida, los resultados de la presente investigación sugieren una restricción particular a la

hipótesis planteada por el principio de procesamiento. Específicamente, el principio de procesamiento sugiere que las expectativas respecto a un estímulo conllevan a un incremento en el procesamiento vía *top-down* de la señal sensorial asociada con las características anticipadas relevantes del estímulo, incrementando su duración percibida. Efectivamente, los mecanismos atencionales *top-down* facilitan la anticipación de las formas específicas de las características esperadas de un estímulo, las cuales a la vez facilitan su subsecuente detección y procesamiento (Stokes, Thompson, Nobre y Duncan, 2009; Ansorge et al., 2010; Summerfield y de Lange, 2014; Ekman, Kok, y de Lange, 2017). Sin embargo, si esta hipótesis fuera cierta, en la tarea *oddball* temporal, las expectativas de un observador sobre las características físicas de los estímulos estándar podrían incluso disminuir la sobreestimación de un estímulo meta (Bringruber et al., 2018) o incluso evitar la ocurrencia del EOT.

En los experimentos aquí realizados, la duración de los estímulos meta esperados se sobreestimó al ser comparada con la duración de los estímulos estándar, incluso aunque éstos también fueran esperados. Desde esta perspectiva, y de manera contraria al principio de procesamiento, en la tarea *oddball* temporal, las expectativas sobre las características de los estímulos estándar no se deben asociar con un incremento en su duración percibida, sino con una subestimación en su duración. Por lo tanto, la presente investigación plantea que, posiblemente, las expectativas tengan efectos opuestos en la duración percibida dependiendo de la relevancia del estímulo para la tarea, disminuyendo en duración cuando son irrelevantes, e incrementando en duración cuando son relevantes para la tarea. Esta hipótesis necesita ponerse a prueba en futuras investigaciones.

Los presentes hallazgos no contradicen la propuesta de la hipótesis del cerebro predictivo. Clark (2013) sugirió la teoría del procesamiento predictivo la cual refiere al procesamiento de la información perceptual basada en las estrategias de la codificación predictiva. El procesamiento predictivo no especifica los detalles respecto a las implementaciones neuronales ya que su principal interés es identificar los principios comunes del procesamiento perceptual (Clark, 2016). El procesamiento predictivo sugiere que el cerebro combina el conocimiento previo almacenado (modelos internos) con la información sensorial entrante para generar hipótesis sobre la futura entrada sensorial durante una tarea dentro de un contexto particular (Lupyan y Clark, 2015). Las desviaciones inesperadas de aquello que se predice producen errores predictivos, los cuales necesitan ser procesados para refinar las futuras predicciones (Clark, 2015). En contraste, las expectativas cumplidas sobre la información perceptual anticipada reducen el error predictivo. Sin embargo, las expectativas cumplidas también pueden generar un incremento en la señal de la entrada sensorial mediante atención *top-down* (Friston, 2005; Clark, 2013, 2016). En este sentido, el procesamiento *top-down* y *bottom-up* de la información sensorial es mediado por la atención *top-down* de tal forma que se controla el incremento de la señal de la entrada sensorial y la influencia de las expectativas dependiendo de la tarea y el contexto (Friston, 2009; Clark, 2013, 2016).

La atención *top-down* modula el procesamiento de la información sensorial entrante que es relevante e informativa para una tarea específica. Este procesamiento predictivo determina el flujo de la señal *bottom-up* y de las predicciones *top-down*, favoreciendo la generación de representaciones perceptuales vívidas. Por lo tanto, estas ideas son compatibles con lo que la presente investigación sugiere respecto a que la duración

percibida depende de la cantidad de información perceptual procesada vía *bottom-up* pero que es dirigida por un control atencional *top-down*, de tal manera que se pueda extraer de una manera eficiente la información relevante para la tarea.

El reloj interno como el mecanismo temporal subyacente

Desde una perspectiva mecanicista, los resultados de los experimentos aquí reportados pueden explicarse mediante el modelo del reloj interno. En la presente investigación, se observaron las propiedades temporales escalares, favoreciendo la hipótesis del reloj interno como el mecanismo temporal subyacente. Las propiedades temporales escalares pueden ser vistas como un punto en común entre los juicios temporales y otros procesos cognitivos, lo cual motiva proponer teorías integradas (Matthews y Meck, 2016).

Tradicionalmente, el modelo del reloj interno sugiere que la información temporal se pierde cuando la atención se distrae del procesamiento temporal de un evento, acumulando menos pulsos. Sin embargo, se ha sugerido que cuando la atención exógena se dirige hacia el procesamiento de la información perceptual de un estímulo el reloj interno se acelera incrementando su duración percibida (Seifried y Ulrich, 2011; Tse et al., 2004). Desde esta perspectiva, cuando un observador dirige su atención a un estímulo, los pulsos acumulados, emitidos por el marcapasos, miden la cantidad de información perceptual procesada con la cual se calcula su duración. Los resultados de esta investigación sugieren que el reloj interno se acelera, específicamente, cuando la atención *top-down* se dirige hacia el procesamiento de un estímulo meta, incrementando la tasa de procesamiento de información perceptual vía *bottom-up*.

Respecto a la presencia de características salientes y esperadas de un estímulo meta, se sugiere que la anticipación de las características físicas del estímulo al facilitar su detección y procesamiento rápidamente aceleran el reloj interno. Aparentemente, el efecto de esta rápida aceleración del reloj interno tiene un impacto en la modulación de la magnitud del EOT sólo cuando se utiliza una escala temporal corta de presentación de los estímulos. Cuando se tiene más tiempo de procesamiento de los estímulos meta salientes y esperados por los observadores, el efecto de esta rápida aceleración se desvanece. A la vez, se sugiere que cuando los estímulos meta tienen características salientes y éstas son inesperadas por los observadores, al necesitar más tiempo de procesamiento, tardarán más en acelerar el reloj interno. Por lo tanto, al utilizar una escala temporal larga de presentación de los estímulos, el incremento en la aceleración del reloj interno causado por las características salientes de los estímulos meta inesperados aumentará la magnitud del EOT.

Preguntas abiertas y futuras investigaciones

En la literatura sobre el EOT se han reportado resultados contradictorios respecto a la contribución de la saliencia de los estímulos meta en la modulación de la magnitud del EOT. La presente investigación aporta nueva evidencia para resolver esta aparente contradicción. Posiblemente, la contribución adicional de las características salientes de los estímulos meta depende de la escala temporal de presentación de los estímulos y de si éstos son esperados o inesperados por los observadores. Por lo tanto, parece necesario realizar futuras investigaciones en este sentido para obtener conclusiones contundentes sobre los efectos de la saliencia de los estímulos meta en la duración percibida. Por ejemplo, sería conveniente examinar los efectos de distintos tipos de estímulos meta salientes, como estímulos con importancia biológica, estímulos en movimiento, rostros amenazantes, entre

otros, los cuales sean tanto esperados como inesperados por los observadores y utilizando distintas escalas temporales de presentación de los estímulos.

Por otra parte, aún no queda claro si los efectos de la preparación de una acción voluntaria podrían explicar el EOT o de qué manera contribuyen a la modulación de la magnitud del fenómeno. Se ha reportado que la duración percibida de los estímulos visuales se sobrestiman en duración cuando éstos se presentan antes de la ejecución de una acción voluntaria (Hagura Kanai, Orgs y Haggard, 2012; Iwasaki, Tomita y Noguchi, 2017). La dirección y la modulación de los efectos de la preparación de una acción en la duración percibida depende de la presencia y ausencia de la entrada sensorial durante el periodo que se juzgará antes de la ejecución de la acción (Iwasaki et al., 2017). La sobreestimación de la duración de un estímulo visual ocurre cuando éste es presentado en el periodo de pre-acción (Hagura et al., 2012; Iwasaki et al., 2017). Sin embargo, si el IEE es el que se juzga durante el periodo de pre-acción, su duración percibida se subestima (Morrone, Ross y Burr, 2005; Tomassini, Gori, Baud-Bovy, Sandini y Morrone, 2014; Yokosaka, Kuroki, Nishida y Watanabe, 2015), o incluso no tiene ningún efecto en la duración percibida (Iwasaki et al., 2017). En este sentido, se puede considerar a los efectos de la preparación de la acción como una función adaptativa, la cual en la presencia de información sensorial entrante se incrementa la velocidad del procesamiento visual para maximizar las oportunidades de ajustar la acción si es necesario (Hagura et al., 2012; Iwasaki et al., 2017). Estos hallazgos sobre los efectos de la preparación de la acción son consistentes con el supuesto de que la duración percibida está correlacionada con la velocidad y la cantidad de información perceptual que es procesada durante el intervalo a juzgar.

De particular interés para la presente investigación, se ha reportado que en tareas de tasa de detección, el desempeño en el procesamiento visual incrementa en mayor medida cuando una acción voluntaria está involucrada en la tarea, en comparación con la ausencia de acción y sólo el involucramiento de la atención *top-down*. Este incremento en el desempeño del procesamiento visual ocurre dentro de los 300 ms antes de que la acción se ejecute (Hagura et al., 2012). En los experimentos aquí reportados, para evitar los efectos de la preparación de una acción, se les indicaba a los participantes que dieran su respuesta mediante una clave que se mostraba 300 ms después de la presentación del estímulo meta. Sin embargo, en la tarea *oddball* temporal, aún no queda claro si los efectos de la preparación de la acción respecto a la respuesta sobre el estímulo meta tienen algún efecto adicional a la atención *top-down* en la duración percibida incluso si la acción se ejecuta 300 ms después de su presentación. Por lo tanto, se debe realizar investigación en este sentido para conocer la posible contribución de los efectos de la preparación de una acción para la ocurrencia y la modulación del EOT.

Por lo anterior, se sugiere que las siguientes condiciones experimentales serían de utilidad para dilucidar los efectos de la preparación de la acción en el EOT. Primero, presentar una condición experimental en la que los participantes activamente respondan a cada estímulo de la secuencia después de su presentación. Segundo, una condición donde los participantes respondan activamente al finalizar la presentación de todos los estímulos estándar pero no respondan mediante una acción al estímulo meta. Finalmente, una condición donde los participantes sólo respondan activamente cuando la presentación del estímulo meta finalice. Si el EOT aún ocurre en las primeras dos condiciones mencionadas, se podría sugerir que la atención *top-down* es el principal factor explicativo del EOT.

Además, si el EOT incrementa significativamente en la tercera condición en comparación con las primeras dos, los efectos de la preparación de la acción se podrían considerar como un factor adicional que contribuye en la modulación de la magnitud del EOT.

Con relación a los efectos de la repetición de un estímulo meta en la duración percibida, aún no queda claro en qué medida las expectativas temporales respecto a ‘cuando’ se presentará el estímulo contribuyen a la ocurrencia del EOT. Se ha sugerido que la repetición de un estímulo tiene efectos opuestos en su duración percibida, subestimándose por los efectos de adaptación por la simple repetición, o sobreestimándose por los efectos de las expectativas de repetición del estímulo (Matthews, 2015). En este sentido, Cai et al. (2015) en su Experimento 2, reportaron que la subestimación de la duración del estímulo meta disminuía cuando su repetición se volvía esperada por los observadores. En la presente investigación, en la condición experimental de *esperado repetido*, en donde el estímulo meta era idéntico al estímulo estándar en sus características físicas y los participantes tenían 100% de certeza de su ocurrencia en los ensayos, se presentó el EOT. En contraste, van Wassenhove et al. (2008), en sus condiciones control de la modalidad visual, en donde también el estímulo meta era idéntico a los estímulos estándar, reportaron una subestimación del estímulo meta aunque los participantes también tenían 100% de certeza de su ocurrencia en los ensayos. Posiblemente, estos resultados contradictorios puedan explicarse mediante los efectos de las expectativas temporales de la presentación del estímulo meta.

En la investigación de van Wassenhove et al. (2008) el IEE se eligió de manera aleatoria, el cual podía presentarse en un rango de 750 ms a 950 ms. Por el contrario, Cai et al. (2015), al igual que en la presente investigación, se utilizó un IEE fijo de 300 ms.

Probablemente, tener una expectativa temporal respecto a la presentación de los estímulos permitió dirigir la atención *top-down* hacia los estímulos meta, facilitando su detección y el procesamiento. Por lo tanto, las expectativas temporales sobre ‘cuándo’ se presentará un estímulo meta podrían explicar por qué en la presente investigación, a diferencia de van Wassenhove et al. (2008), los estímulos meta esperados e idénticos al estándar se sobreestimaron en duración. Por lo tanto, la presente investigación sugiere que cuando el estímulo meta es temporalmente esperado, junto con las expectativas de repetición del estímulo meta, éste se sobreestimaré en duración. En este sentido, es necesario realizar investigación al respecto, presentando estímulos meta idénticos al estándar en todas las condiciones experimentales en donde se manipulen las expectativas temporales de los observadores en torno a su presentación. Por ejemplo, sería conveniente comparar cuatro condiciones experimentales en donde el IEE sea: fijo, aleatorio, con alta y con baja probabilidad de ocurrencia en los ensayos (80 vs. 20).

Por otra parte, los procesos centrales involucrados en los juicios perceptuales no pueden entenderse completamente en términos de los órganos sensoriales. Por lo tanto, los sesgos de respuesta en los juicios perceptuales se deben considerar para hacer una descripción más adecuada (Poulton, 1968). En psicofísica, el modelo de igualación de la frecuencia de respuesta sugiere que los participantes tienden a sesgar sus respuestas igualando la frecuencia en la que responden todas las opciones disponibles (Erlebacher y Sekuler, 1971; Sekuler y Erlebacher, 1971). Principalmente, este sesgo de respuesta afecta a los juicios comparativos que evocan estados de incertidumbre, como por ejemplo, al comparar estímulos que son más similares al estímulo estándar (Sekuler y Erlebacher, 1971). Por lo tanto, es recomendable que los experimentos psicofísicos que utilizan el

método de estímulos constantes presenten estímulos comparativos que se distribuyan de manera simétrica al rededor del estímulo estándar e igualando la frecuencia de su presentación (Parducci y Haugen, 1967; Erlebacher y Sekuler, 1971). Sin embargo, incluso aunque se tomen estas precauciones, considerando que la propia naturaleza del EOT incrementa la tendencia de los participantes a responder “más largo”, los estados de incertidumbre se deben juzgar como “más cortos” en mayor medida para mantener un balance en la frecuencia de respuestas.

Debido a que en la presente investigación se utilizó un diseño experimental de bloques homogéneos, en donde no se mezclaron las condiciones experimentales, es posible que la tendencia de los participantes de igualar la frecuencia de sus respuestas pudiera haber disminuido la magnitud del EOT. Si esto es cierto, en la tarea *oddball* temporal, un diseño de bloques puede disminuir la probabilidad de detectar diferencias significativas entre las condiciones experimentales. Hasta nuestro conocimiento, no existe un estudio previo que tenga como objetivo principal comparar los efectos de los diseños experimentales de bloques o intercalados en la modulación de la magnitud del EOT. Sin embargo, los porcentajes de la DRD que se reportaron en los presentes experimentos (en un rango de 5.8% - 10.2%) son consistentes con investigaciones previas. Particularmente, en investigaciones en donde se repite el estímulo estándar previo a la presentación del estímulo meta, pero con un diseño de bloques intermezclados (ej., Schindel et al., 2011; Cai et al., 2015; Lin y Shimojo, 2017). Por lo tanto, se debe realizar investigación en este sentido para analizar cómo la tendencia en los sesgos de respuesta modula la magnitud del EOT con un diseño experimental de bloques homogéneos o intermezclados.

7. Conclusiones

En la presente investigación, las expectativas de los participantes y la saliencia de los estímulos meta fueron manipuladas para desambiguar la contribución específica de estos factores en la ocurrencia del EOT. Los resultados indicaron que el EOT, medido en el porcentaje de la DRD, ocurrió en la misma medida al presentar estímulos meta esperados e inesperados. Este mismo patrón de resultados se observó usando una escala temporal corta y larga de presentación de los estímulos. Estos resultados están en concordancia con el supuesto de que la atención *top-down* es el principal factor que subyace la ocurrencia del EOT. Adicionalmente, una pequeña pero significativa diferencia en la magnitud del EOT fue provocada por la saliencia de los estímulos meta. La contribución adicional de la saliencia fue dependiente de la escala temporal de presentación de los estímulos y de sus características esperadas o inesperadas.

Se sugiere que cuando se utiliza una escala temporal corta de presentación de los estímulos, la presencia de las características esperadas y salientes de los estímulos meta aceleran rápidamente el procesamiento perceptual debido a las ventajas de procesamiento que otorgan, lo cual incrementa en mayor medida el EOT. Por el contrario, cuando se utiliza una escala temporal larga de presentación de los estímulos, la presencia de características inesperadas y salientes de los estímulos meta el EOT incrementa en mayor medida, pero se elimina la contribución de la saliencia de los estímulos meta esperados. Por lo tanto, las ventajas perceptuales de la saliencia para detectar rápidamente y extraer la información sensorial de los estímulos meta esperados se eliminan cuando se dispone de más tiempo de procesamiento. Los estímulos meta inesperados y salientes al tener desventajas perceptuales y temporales de procesamiento, requieren de una escala temporal larga de presentación de

los estímulos para extraer la información perceptual relevante para la tarea e incrementar en mayor medida el EOT.

Los hallazgos de la presente investigación sugieren que la atención *top-down* es el principal mecanismo cognitivo asociado a la duración percibida debido a su contribución en el procesamiento de la información perceptual de los estímulos relevantes para la tarea. Las características salientes de los estímulos meta esperados e inesperados, presentados dentro de una escala temporal específica, es un factor adicional para modular la magnitud del EOT. En conjunto, estos dos factores determinan la cantidad y la velocidad de información perceptual relevante para la tarea que puede ser procesada en un intervalo específico. Los resultados de los experimentos aquí realizados favorecen al modelo del reloj interno suponiendo que el marcapasos se acelera cuando la atención *top-down* se dirige para procesar la información perceptual que es relevante para la tarea.

Finalmente, los hallazgos de la presente investigación apuntan a nuevas direcciones de investigación sobre el EOT, las cuales requieren un examen más detenido. A la vez, se sugiere aclarar los efectos en la ocurrencia y modulación de la magnitud del EOT de: la saliencia de estímulos meta esperados e inesperados bajo distintas escalas temporales, la preparación de una acción voluntaria, las expectativas temporales de la ocurrencia de un estímulo meta, así como de los diseños experimentales de bloques homogéneos e intermezclados.

Referencias

- Allman, M. J., Teki, S., Griffiths, T. D., & Meck, W. H. (2014). Properties of the Internal Clock: First- and Second-Order Principles of Subjective Time. *Annual Review of Psychology*, 65(1), 743–771. doi:10.1146/annurev-psych-010213-115117
- Ansorge, U., Horstmann, G., & Scharlau, I. (2010). Top-down contingent attentional capture during feed-forward visual processing. *Acta Psychologica*, 135(2), 123–126. doi:10.1016/j.actpsy.2010.05.008
- Bacon, W. F., & Egeth, H. E. (1997). Goal-directed guidance of attention: evidence from conjunctive visual search. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23(4), 948–961. doi:10.1037/0096-1523.23.4.948
- Bates, D. M., & Watts, D. G. (Eds.). (1988). *Nonlinear Regression Analysis and Its Applications*. Wiley Series in Probability and Statistics. New York: Wiley. doi:10.1002/9780470316757
- Beckmann, J. S., & Young, M. E. (2009). Stimulus dynamics and temporal discrimination: implications for pacemakers. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 35(4), 525–537. doi:10.1037/a0015891
- Bernstein, I. H., & Reese, C. (1965). Behavioral hypotheses and choice reaction time. *Psychonomic Science*, 3(1-12), 259–260. doi:10.3758/bf03343125
- Birngruber, T., Schröter, H., & Ulrich, R. (2014). Duration perception of visual and auditory oddball stimuli: Does judgment task modulate the temporal oddball effect?

Attention, Perception, & Psychophysics, 76(3), 814–828. doi:10.3758/s13414-013-0602-2

Birngruber, T., Schröter, H., & Ulrich, R. (2015a). The influence of stimulus repetition on duration judgments with simple stimuli. *Frontiers in Psychology*, 6, 1213. doi:10.3389/fpsyg.2015.01213

Birngruber, T., Schröter, H., & Ulrich, R. (2015b). Introducing a control condition in the classic oddball paradigm: Oddballs are overestimated in duration not only because of their oddness. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 77(5), 1737-1749. doi:10.3758/s13414-015-0868-7

Birngruber, T., Schröter, H., Schütt, E., & Ulrich, R. (2018). Stimulus expectation prolongs rather than shortens perceived duration: Evidence from self-generated expectations. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 44(1), 117–127. doi:10.1037/xhp0000433

Boik, R. J. (1981). A priori tests in repeated measures designs: Effects of nonsphericity. *Psychometrika*, 46(3), 241-255. doi:10.1007/bf02293733

Brown, S. W. (1995). Time, change, and motion: The effects of stimulus movement on temporal perception. *Perception & psychophysics*, 57, 105-116.

Bubic, A., Von Cramon, D. Y., & Schubotz, R. I. (2010). Prediction, cognition and the brain. *Frontiers in Human Neuroscience*, 4, 25. doi:10.3758/bf03211853

- Buhusi, C. V., & Meck, W. H. (2005). What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(10), 755–765. doi:10.1038/nrn1764
- Buonomano, D. (2017). *Your Brain Is a Time Machine: The Neuroscience and Physics of Time*. WW Norton & Company.
- Cai, M. B., Eagleman, D. M., & Ma, W. J. (2015). Perceived duration is reduced by repetition but not by high-level expectation. *Journal of Vision*, 15(13), 19. doi:10.1167/15.13.19
- Chong, H., Riis, J. L., McGinnis, S. M., Williams, D. M., Holcomb, P. J., & Daffner, K. R. (2008). To ignore or explore: Top-down modulation of novelty processing. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 20(1), 120–134. doi:10.1162/jocn.2008.20003
- Church, R. M. (1984). Properties of the internal clock. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423(1 Timing and Ti), 566–582. doi:10.1111/j.1749-6632.1984.tb23459.x
- Church, R. M. (2003). “A concise introduction to scalar timing theory,” in *Functional and Neural Mechanisms of Interval Timing*, ed. W. H. Meck (Boca Raton, FL: CRC Press), 3–22. doi:10.1201/9780203009574.sec1
- Clark, A. (2013). Whatever next? Predictive brains, situated agents, and the future of cognitive science. *Behavioral and Brain Sciences*, 36(3), 181–204. doi:10.1017/S0140525X12000477
- Clark, A. (2015). “Embodied Prediction” in *Open MIND*, ed. T. Metzinger and J. M. Windt (Frankfurt am Main: MIND Group), 1–21. doi:10.15502/9783958570115

- Clark, A. (2016). *Surfing Uncertainty: Prediction, Action, and the Embodied Mind*. Oxford: Oxford University Press. doi:10.1017/s0012217317000270
- Courchesne, E., Hillyard, S. A., & Galambos, R. (1975). Stimulus novelty, task relevance and the visual evoked potential in man. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 39(2), 131–143. doi:10.1016/0013-4694(75)90003-6
- Dyjas, O., Bausenhardt, K. M., & Ulrich, R. (2012). Trial-by-trial updating of an internal reference in discrimination tasks: Evidence from effects of stimulus order and trial sequence. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 74(8), 1819–1841. doi:10.3758/s13414-012-0362-4
- Eagleman, D. M. (2008). Human time perception and its illusions. *Current Opinion in Neurobiology*, 18(2), 131–136. doi:10.1016/j.conb.2008.06.002
- Eagleman, D. M., & Pariyadath, V. (2009). Is subjective duration a signature of coding efficiency? *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 364(1525), 1841–1851. doi:10.1098/rstb.2009.0026
- Eagleman, D. M., Peter, U. T., Buonomano, D., Janssen, P., Nobre, A. C., & Holcombe, A. O. (2005). Time and the brain: how subjective time relates to neural time. *Journal of Neuroscience*, 25(45), 10369–10371. doi:10.1523/jneurosci.3487-05.2005
- Einhäuser, W., Rutishauser, U., & Koch, C. (2008). Task-demands can immediately reverse the effects of sensory-driven saliency in complex visual stimuli. *Journal of Vision*, 8(2), 2. doi:10.1167/8.2.2

- Ekman, M., Kok, P., & de Lange, F. P. (2017). Time-compressed preplay of anticipated events in human primary visual cortex. *Nature Communications*, 8, 15276. doi:10.1038/ncomms15276
- Erlebacher, A., & Sekuler, R. (1971). Response frequency equalization: A bias model for psychophysics. *Perception & Psychophysics*, 9(3), 315–320. doi:10.3758/bf03212657
- Fichtenholtz, H. M., Dean, H. L., Dillon, D. G., Yamasaki, H., McCarthy, G., & LaBar, K. S. (2004). Emotion–attention network interactions during a visual oddball task. *Cognitive Brain Research*, 20(1), 67–80. doi:10.1016/j.cogbrainres.2004.01.006
- Fraisse, P. (1984). Perception and estimation of time. *Annual review of psychology*, 35(1), 1–37. doi:10.1146/annurev.ps.35.020184.000245
- Friston, K. (2005). A theory of cortical responses. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*, 360(1456), 815–836. doi:10.1098/rstb.2005.1622
- Friston, K. (2009). The free-energy principle: a rough guide to the brain? *Trends in Cognitive Sciences*, 13(7), 293–301. doi:10.1016/j.tics.2009.04.005
- Garaizar, P., Vadillo, M. A., López-de-Ipiña, D., & Matute, H. (2014). Measuring software timing errors in the presentation of visual stimuli in cognitive neuroscience experiments. *PLoS ONE*, 9(1), e85108. doi:10.1371/journal.pone.0085108
- Gescheider, G. A. (1997). The classical psychophysical methods. *Psychophysics: the fundamentals*, 45–72.
- Gibbon, J. (1991). Origins of scalar timing. *Learning and Motivation*, 22(1-2), 3–38. doi:10.1016/0023-9690(91)90015-z

- Gibbon, J., & Church, R. M. (1984). "Sources of variance in an information processing theory of timing," in *Animal Cognition*, ed. H. Roitblat, T. Bever, and H. Terrace (Hillsdale: Lawrence Erlbaum), 465–488.
- Gilbert, C. D., & Li, W. (2013). Top-down influences on visual processing. *Nature Reviews Neuroscience*, 14(5), 350–363. doi:10.1038/nrn3476
- Goodyear, B. G., & Menon, R. S. (1998). Effect of luminance contrast on BOLD fMRI response in human primary visual areas. *Journal of Neurophysiology*, 79(4), 2204–2207. doi:10.1152/jn.1998.79.4.2204
- Grill-Spector, K., Henson, R., & Martin, A. (2006). Repetition and the brain: neural models of stimulus-specific effects. *Trends in Cognitive Sciences*, 10(1), 14–23. doi:10.1016/j.tics.2005.11.006
- Grondin, S. (2010). Timing and time perception: a review of recent behavioral and neuroscience findings and theoretical directions. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(3), 561–582. doi:10.3758/app.72.3.561
- Hagura, N., Kanai, R., Orgs, G., & Haggard, P. (2012). Ready steady slow: action preparation slows the subjective passage of time. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 279(1746), 4399–4406. doi:10.1098/rspb.2012.1339
- Henson, R. N. A., & Rugg, M. D. (2003). Neural response suppression, haemodynamic repetition effects, and behavioural priming. *Neuropsychologia*, 41(3), 263–270. doi:10.1016/s0028-3932(02)00159-8

- Herai, T., & Mogi, K. (2010). Effect of numeric order on subjective duration of following stimulus. *Australian Journal of Intelligent Information Processing Systems*, 11(3), 19–23.
- Holland P. C. & Gallagher M. (1999) Amygdala circuitry in attentional and representational processes. *Trends in Cognitive Sciences*, 3(2), 65–73. doi:10.1016/s1364-6613(98)01271-6
- Horstmann, G., & Herwig, A. (2016). Novelty biases attention and gaze in a surprise trial. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 78(1), 69–77. doi:10.3758/s13414-015-0995-1
- Iwasaki, M., Tomita, K., & Noguchi, Y. (2017). Non-uniform transformation of subjective time during action preparation. *Cognition*, 160, 51–61. doi:10.1016/j.cognition.2016.12.011
- Kahneman, D. (1973). *Attention and Effort*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Kim, E., & McAuley, J. D. (2013). Effects of pitch distance and likelihood on the perceived duration of deviant auditory events. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 75(7), 1547–1558. doi:10.3758/s13414-013-0490-5
- Kok, A., & de Jong, H. L. (1980). The effect of repetition of infrequent familiar and unfamiliar visual patterns on components of the event-related brain potential. *Biological Psychology*, 10(3), 167–188. doi:10.1016/0301-0511(80)90013-7

- Kok, P., Rahnev, D., Jehee, J. F., Lau, H. C., & de Lange, F. P. (2012). Attention reverses the effect of prediction in silencing sensory signals. *Cerebral Cortex*, 22(9), 2197–2206. doi:10.1093/cercor/bhr310
- LaBerge, D. (1995). *Attentional Processing: The Brain's Art of Mindfulness*. Cambridge: Harvard University Press.
- Li, L., Miller, E. K., & Desimone, R. (1993). The representation of stimulus familiarity in anterior inferior temporal cortex. *Journal of neurophysiology*, 69(6), 1918-1929. doi:10.1152/jn.1993.69.6.1918
- Lin, Y. J., & Shimojo, S. (2017). Triple dissociation of duration perception regulating mechanisms: Top-down attention is inherent. *PLOS ONE*, 12(8), e0182639. doi:10.1371/journal.pone.0182639
- Loftus, G. R. (1985). Picture perception: Effects of luminance on available information and information-extraction rate. *Journal of Experimental Psychology: General*, 114(3), 342–356. doi:10.1037/0096-3445.114.3.342
- Loftus, G. R., Nelson, W. W., & Kallman, H. J. (1983). Differential acquisition rates for different types of information from pictures. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section A*, 35(1), 187–198. doi:10.1080/14640748308402124
- Lupyan, G., & Clark, A. (2015). Words and the world: predictive coding and the language-perception-cognition interface. *Current Directions in Psychological Science*, 24(4), 279–284. doi:10.1177/0963721415570732

- Matthews, W. J. (2011). Stimulus repetition and the perception of time: The effects of prior exposure on temporal discrimination, judgment, and production. *PLoS One*, 6(5), e19815, 19811–19817. doi:10.1371/journal.pone.0019815
- Matthews, W. J. (2015). Time perception: the surprising effects of surprising stimuli. *Journal of Experimental Psychology: General*, 144(1), 172–197. doi:10.1037/xge0000041
- Matthews, W. J., & Dylman, A. S. (2014). The language of magnitude comparison. *Journal of Experimental Psychology: General*, 143(2), 510. doi:10.1037/a0034143
- Matthews, W. J., & Gheorghiu, A. I. (2016). Repetition, expectation, and the perception of time. *Current Opinion in Behavioral Sciences*, 8, 110–116. doi:10.1016/j.cobeha.2016.02.019
- Matthews, W. J., & Meck, W. H. (2016). Temporal cognition: connecting subjective time to perception, attention, and memory. *Psychological Bulletin*, 142(8), 865–907. doi:10.1037/bul0000045
- Matthews, W. J., Terhune, D. B., van Rijn, H., Eagleman, D. M., Sommer, M. A., & Meck, W. H. (2014). Subjective duration as a signature of coding efficiency: emerging links among stimulus repetition, predictive coding, and cortical GABA levels. *Timing & Time Perception Reviews*, 1(1), 1–12. doi:10.1163/24054496-00101005
- Morrone, M. C., Ross, J., & Burr, D. (2005). Saccadic eye movements cause compression of time as well as space. *Nature Neuroscience*, 8(7), 950–954. doi:10.1038/nn1488

- New, J. J., & Scholl, B. J. (2009). Subjective time dilation: spatially local, object based, or a global visual experience? *Journal of Vision*, 9(2), 4–4. doi:10.1167/9.2.4
- Parducci, A., & Haugen, R. (1967). The frequency principle for comparative judgments. *Perception & Psychophysics*, 2(2), 81–82. doi:10.3758/bf03212467
- Pariyadath, V., & Eagleman, D. M. (2007). The effect of predictability on subjective duration. *PloS One*, 2(11), e1264. doi:10.1371/journal.pone.0001264
- Pariyadath, V., & Eagleman, D. M. (2012). Subjective duration distortions mirror neural repetition suppression. *PloS One*, 7(12), e49362. doi:10.1371/journal.pone.0049362
- Pariyadath, V., Churchill, S. J., & Eagleman, D. M. (1993). Predictability engenders more efficient neural responses. *Journal of neurophysiology*, 69, 1918-1929.
- Pariyadath, V., Plitt, M. H., Churchill, S. J., & Eagleman, D. M. (2012). Why overlearned sequences are special: distinct neural networks for ordinal sequences. *Frontiers in Human Neuroscience*, 6. doi:10.3389/fnhum.2012.00328
- Peirce, J. W. (2007). PsychoPy—psychophysics software in Python. *Journal of Neuroscience Methods*, 162(1-2), 8–13. doi:10.1016/j.jneumeth.2006.11.017
- Poulton, E. C. (1968). The new psychophysics: Six models for magnitude estimation. *Psychological Bulletin*, 69(1), 1–19. doi:10.1037/h0025267
- Quinn, G. P., & Keough, M. J. (2002). *Experimental Design and Data Analysis for Biologists*. Cambridge: Cambridge University Press. doi:10.1017/cbo9780511806384

- R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rammsayer, T. H. (2010). Differences in duration discrimination of filled and empty auditory intervals as a function of base duration. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 72(6), 1591–1600. doi:10.3758/app.72.6.1591
- Rao, R. P., & Ballard, D. H. (1999). Predictive coding in the visual cortex: a functional interpretation of some extra-classical receptive-field effects. *Nature Neuroscience*, 2(1), 79–87. doi:10.1038/4580
- Reggev, N., Bein, O., & Maril, A. (2016). Distinct neural suppression and encoding effects for conceptual novelty and familiarity. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 28(10), 1455–1470. doi:10.1162/jocn_a_00994
- Rose, D., & Summers, J. (1995). Duration illusions in a train of visual stimuli. *Perception*, 24(10), 1177–1187. doi:10.1068/p241177
- Ruxton, G. D., & Beauchamp, G. (2008). Time for some a priori thinking about post hoc testing. *Behavioral ecology*, 19(3), 690–693. doi:10.1093/beheco/arn020
- Schindel, R., Rowlands, J., & Arnold, D. H. (2011). The oddball effect: perceived duration and predictive coding. *Journal of Vision*, 11(2), 17–17. doi:10.1167/11.2.17
- Schomaker, J. (2015). *What's New? The Interaction Between Novelty and Cognition*. Amsterdam: Vrije Universiteit.

- Schröger, E., Kotz, S. A., & SanMiguel, I. (2015). Bridging prediction and attention in current research on perception and action. *Brain Research*, 1626, 1-13. doi:10.1016/j.brainres.2015.08.037
- Schweitzer, R., Trapp, S., & Bar, M. (2017). Associated information increases subjective perception of duration. *Perception*, 46(8), 1000–1007. doi:10.1177/0301006616689579
- Segaert, K., Weber, K., de Lange, F. P., Petersson, K. M., & Hagoort, P. (2013). The suppression of repetition enhancement: a review of fMRI studies. *Neuropsychologia*, 51(1), 59–66. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2012.11.006
- Seifried, T., & Ulrich, R. (2011). Exogenous visual attention prolongs perceived duration. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 73(1), 68–85. doi:10.3758/s13414-010-0005-6
- Sekuler, R., & Erlebacher, A. (1971). The invalidity of “invalid results from the method of constant stimuli”: A common artifact in the methods of psychophysics. *Perception & Psychophysics*, 9(3), 309–311. doi:10.3758/bf03212655
- Shaffer, W. O., & Shiffrin, R. M. (1972). Rehearsal and storage of visual information. *Journal of Experimental Psychology*, 92(2), 292–296. doi:10.1037/h0032076
- Skylark, W., & Gheorghiu, A. (2017). Further evidence that the effects of repetition on subjective time depend on repetition probability. *Frontiers in Psychology*, 8. doi:10.3389/fpsyg.2017.01915

- Stokes, M., Thompson, R., Nobre, A. C., & Duncan, J. (2009). Shape-specific preparatory activity mediates attention to targets in human visual cortex. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106(46), 19569–19574. doi:10.1073/pnas.0905306106
- Summerfield, C., & de Lange, F. P. (2014). Expectation in perceptual decision making: neural and computational mechanisms. *Nature Reviews Neuroscience*, 15(11), 745–756. doi:10.1038/nrn3838
- Summerfield, C., Trittschuh, E. H., Monti, J. M., Mesulam, M. M., & Egner, T. (2008). Neural repetition suppression reflects fulfilled perceptual expectations. *Nature Neuroscience*, 11(9), 1004–1006. doi:10.1038/nn.2163
- Theeuwes, J. (2010). Top-down and bottom-up control of visual selection. *Acta psychologica*, 135(2), 77-99. doi:10.1016/j.actpsy.2010.07.006
- Tomassini, A., Gori, M., Baud-Bovy, G., Sandini, G., & Morrone, M. C. (2014). Motor commands induce time compression for tactile stimuli. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 126, 100–101. doi:10.1016/j.sbspro.2014.02.327
- Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval: implications for a model of the “internal clock.” *Psychological Monographs: General and Applied*, 77(13), 1–31. doi:10.1037/h0093864
- Tse, P. U., Intriligator, J., Rivest, J., & Cavanagh, P. (2004). Attention and the subjective expansion of time. *Perception & Psychophysics*, 66(7), 1171–1189. doi:10.3758/bf03196844

- Ulrich, R., Nitschke, J., & Rammsayer, T. (2006). Perceived duration of expected and unexpected stimuli. *Psychological Research Psychologische Forschung*, 70(2), 77–87. doi:10.1007/s00426-004-0195-4
- Utzerath, C., St. John-Saaltink, E., Buitelaar, J., & de Lange, F. P. (2017). Repetition suppression to objects is modulated by stimulus-specific expectations. *Scientific Reports*, 7(1). doi:10.1038/s41598-017-09374-z
- van Wassenhove, V., Buonomano, D. V., Shimojo, S., & Shams, L. (2008). Distortions of subjective time perception within and across senses. *PLoS One*, 3(1), e1437. doi:10.1371/journal.pone.0001437
- Vangkilde, S., Coull, J. T., & Bundesen, C. (2012). Great expectations: temporal expectation modulates perceptual processing speed. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 38(5), 1183–1191. doi:10.1037/a0026343
- Wearden, J. H., & Lejeune, H. (2008). Scalar properties in human timing: conformity and violations. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 61(4), 569–587. doi:10.1080/17470210701282576
- Wiggs, C. L., & Martin, A. (1998). Properties and mechanisms of perceptual priming. *Current opinion in neurobiology*, 8(2), 227-233. doi:10.1016/s0959-4388(98)80144-x
- Xuan, B., Zhang, D., He, S., & Chen, X. (2007). Larger stimuli are judged to last longer. *Journal of Vision*, 7(10), 2. doi:10.1167/7.10.2

Yokosaka, T., Kuroki, S., Nishida, S., & Watanabe, J. (2015). Apparent time interval of visual stimuli is compressed during fast hand movement. *PLoS One*, 10(4), e0124901. doi:10.1371/journal.pone.0124901