



# UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

---

**PROGRAMA DE MAESTRIA Y DOCTORADO EN PSICOLOGIA  
ANALISIS EXPERIMENTAL DE LA CONDUCTA**

**ESTIMACION TEMPORAL: ACELERACION DEL RELOJ INTERNO  
POR MEDIO DE SECUENCIAS DE ESTIMULOS**

**T E S I S**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE  
DOCTORA EN PSICOLOGIA**

**P R E S E N T A**

**LAURA ORTEGA TORRES**

**JURADO DE EXAMEN DE GRADO**

**DIRECTOR: DR. FLORENTE LOPEZ RODRIGUEZ**

**COMITE: DR. ARTURO BOUZAS RIAÑO**

**DR. OSCAR VLADIMIR ORDUÑA TRUJILLO**

**DR. PAULO GUILHARDI**

**DRA. JUDITH MARINA MENEZ DIAZ**



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 mis padres, quienes me enseñaron la dedicación, el esfuerzo, la motivación y la alegría por el trabajo. Gracias a mi papá por el amor a la ciencia y a mi mamá por la perfección del trabajo y a ambos por todo su apoyo. A mi hermano por su cariño.

Gracias a Emmanuel por compartir el aprendizaje en este Doctorado y en esta vida, por su motivación, su apoyo, su humor y sobretodo por su amor.

Gracias a la familia Guzmán Martínez, la Sra. Eugenia, el Sr. Jorge, a Rocío y Jorge por su amistad, cariño y apoyo.

Agradezco a los miembros del comité de esta tesis: al Dr. Florente López por ser mi tutor, al Dr. Arturo Bouzas por sus comentarios a lo largo del desarrollo de los experimentos y al Dr. Vladimir Orduña, al Dr. Paulo Guilhardi y a la Dra. Marina Menez por sus comentarios a esta tesis.

Gracias al Dr. Germán Palafox, quien aunque no aparece como miembro del comité, participó en el desarrollo de esta investigación y en mi formación desde la Licenciatura. También le agradezco los espacios y los programas proporcionados para la realización de los experimentos del presente trabajo.

Agradezco al Dr. Armando Machado sus pláticas, comentarios y sugerencias al desarrollo de los experimentos de esta tesis.

I would like to thank to Dr. Russell Church from the “Timing Lab” of Brown University for teaching me that much in my year at Brown. Also, thanks to Paulo, Mika, Marcelo, Linlin and David, for being such a great work team, their willingness to help and their friendship.

## Índice

Resumen

Introducción

I.- Analogía del Reloj Interno

II.- La Teoría de Expectancia Escalar

III.- Incremento en la velocidad del reloj interno

Experimento 1. Mantenimiento del incremento del nivel de activación

Experimento 2. Diferentes niveles de activación

Experimento 3. Regularidad del parpadeo

Experimento 4. Modalidad de Parpadeo

Discusión

Conclusiones

Referencias

## RESUMEN

Uno de los fenómenos que ha llamado la atención de los psicólogos es que el tiempo percibido o reportado en ocasiones difiere del tiempo objetivo o real. A pesar de que desde tiempo atrás existen reportes sobre este efecto, no es sino hasta mediados del siglo pasado que se comenzaron a formular modelos para dar cuenta de la estimación temporal. Uno de estos modelos, la teoría de Expectancia Escalar, se propuso para explicar la estimación temporal animal y posteriormente se aplicó a la estimación temporal humana. El modelo propone como base para la percepción temporal un reloj interno que emite pulsos a una cierta tasa. La tasa de emisión de pulsos se puede aumentar, a lo que se reconoce como un incremento en la velocidad del reloj y es esta hipótesis la que se ha propuesto para explicar aumentos en las magnitudes de las estimaciones temporales, i. e., cuando los sujetos reportan que ha transcurrido más tiempo que el transcurrido objetivamente.

La manipulación más común para incrementar la velocidad del reloj interno es la presentación de una secuencia de estimulación rápida, la cual fue ideada para probar algunas hipótesis de un reloj basado en osciladores, propuestos como parte de un modelo alternativo. En el presente trabajo se busca determinar algunos factores de la estimulación que producen incrementos en la velocidad del reloj interno, para inferir las propiedades del mismo. Lo anterior ayudará a decidir qué tipo de reloj es más plausible, un reloj que emite pulsos o un reloj basado en osciladores. Para ello se programaron cuatro experimentos, en los que se manipularon algunas características de secuencias de estimulación rápidas (i.e., el porcentaje de su presencia, su regularidad, frecuencia y modalidad).

Finalmente, se discuten las implicaciones de los resultados de los cuatro experimentos respecto a las propiedades del funcionamiento del reloj interno. De manera general, los resultados descartan la propuesta de un reloj basado en osciladores y sugieren que la velocidad del reloj interno se incrementa mientras corre; se incrementa a una velocidad máxima y finalmente, que dicho reloj corre a dos velocidades, las cuales dependen de características específicas de los estímulos presentada. Asimismo, se concluye que a pesar de que tanto la analogía del reloj interno como la hipótesis del incremento de su velocidad tienen bastante apoyo empírico, hace falta especificar un mecanismo subyacente, el cual podría encontrarse dentro de

las respuestas neuronales, como la reciente literatura en estimación temporal y patrones de respuestas neuronales parecen sugerir.

## INTRODUCCION

La estimación temporal es un fenómeno que ha sido investigado desde los primeros años de la Psicología como ciencia. A pesar de que se conocían factores que afectaban la estimación temporal humana que llamaron la atención de los psicólogos desde esos tiempos (i. e., cambios en la magnitud de las estimaciones temporales debidos a diferentes características sensoriales de los estímulos), no fue hasta los años 70's del siglo pasado que empezó a desarrollarse un gran avance en esta línea de investigación.

Los primeros reportes sobre el comienzo del estudio del fenómeno de la estimación se remontan aproximadamente al año 1930, cuando los mismos investigadores o sus familiares, indicaban que les parecía que el tiempo se alteraba cuando padecían alguna enfermedad que alteraba la temperatura corporal (Wearden, 2005). A partir de estos reportes se desarrollaron algunas investigaciones aisladas, de las cuales surgió la propuesta de que el mecanismo para la estimación temporal se basa en un reloj químico interno. Varios años después, se desarrollaría el primer modelo formal, que retomaría la idea del reloj interno, proponiendo que éste emitía una serie de pulsos, los cuales eran la base para que el sujeto estimara cuanto tiempo había transcurrido (Creelman, 1962). Posteriormente, la analogía del reloj interno, en esta ocasión basado en osciladores, formó parte de un modelo de procesamiento de información más general, donde la interacción entre el reloj y algunos módulos de memoria permitían explicar la estimación temporal humana de manera más amplia (Treisman, 1963). En el primer capítulo del presente trabajo se realiza una revisión sobre el desarrollo de la investigación sobre la estimación temporal, enfocándose en el desarrollo de los modelos que proponen un mecanismo de tipo de reloj interno y que fueron la base para el modelo que actualmente es el más aplicado en la estimación temporal humana: el modelo de procesamiento de información propuesto en la Teoría de Expectancia Escalar.

A pesar de que tanto el modelo de Creelman como el de Treisman fueron desarrollados para explicar la estimación temporal en humanos, ambas propuestas fueron retomadas y adaptadas para formar un nuevo modelo de procesamiento de información para explicar el comportamiento animal bajo condiciones en las que la conducta está guiada por las relaciones temporales del ambiente. La Teoría de Expectancia Escalar (Gibbon & Church, 1984) ha sido

una teoría que ha tenido bastante apoyo empírico y que ha sido ampliamente desarrollada a lo largo de los años. Una vez que dicha teoría tuvo considerable apoyo empírico en la investigación animal, se buscó generalizar la teoría a la estimación temporal humana, encontrando que las respuestas de los participantes humanos eran muy semejantes a la de los animales, y que se mantenían los mismos principios (p. e., la propiedad escalar). En el segundo capítulo del presente trabajo se describen los componentes del modelo de la Teoría de Expectancia Escalar así como el apoyo empírico para la teoría obtenido en diferentes líneas de investigación, como la farmacológica y la del desarrollo humano, lo que da soporte para que este modelo sea el modelo más aplicado en la estimación temporal humana actualmente.

Habiendo encontrado que este modelo era aplicable a la estimación temporal humana, se comenzó a investigar que variaciones, tanto en el reloj interno como en los otros componentes del modelo, podrían explicar varios fenómenos que, como se mencionó previamente, llamaron la atención de los psicólogos desde tiempo atrás. Uno de estos fenómenos es el de incrementos sistemáticos en los valores reportados de las duraciones percibidas, aún cuando dichas duraciones sean las mismas. Estas variaciones se explicaron como un cambio en la velocidad del reloj interno, idea que se planteó originalmente en las primeras investigaciones sobre estimación temporal, que reportaron cambios en las duraciones percibidas debidas a cambios químicos del cuerpo (i.e., la temperatura corporal), y que posteriormente se retomaría en estudios farmacológicos de la estimación temporal animal. En esta hipótesis se propuso específicamente que en situaciones donde el reloj corre a una velocidad mayor que su velocidad base, se percibe que ha transcurrido más tiempo que el transcurrido en tiempo real; mientras que cuando el reloj corre a una velocidad más lenta que la velocidad base, se percibe que ha transcurrido menos tiempo que el transcurrido en tiempo real.

Sin embargo, debido a las limitaciones para aumentar la temperatura corporal y para aplicar sustancias farmacológicas a los participantes, se requirió de una nueva manipulación para estudiar los cambios en la velocidad del reloj interno en humanos. Dicha manipulación fue diseñada por Treisman y sus colaboradores (Treisman, Faulkner, Naish, & Brogan, 1990), y consiste en presentar una secuencia de estimulación rápida ya sea en la modalidad auditiva o en la visual. En diversas investigaciones se ha reportado que esta manipulación es muy efectiva, ya



que cuando se presenta antes de, o junto con, el estímulo cuya duración se estima; o bien cuando se estima la duración de este tipo de estimulación, aumenta la magnitud de la duración percibida.

En cuanto al mecanismo por el cual las secuencias de estímulos incrementan la magnitud de las duraciones reportadas, Treisman y sus colaboradores únicamente indicaron que esta estimulación es muy llamativa, por lo que aumenta el nivel de activación del reloj interno que proponían. Dicha manipulación se aplicó posteriormente en investigaciones que seguían el paradigma de la Teoría de Expectancia Escalar, y se asumió el mismo mecanismo de esta estimulación sobre el reloj interno, i. e., que esta manipulación incrementa el nivel de activación del reloj del interno. En el tercer capítulo del presente trabajo se realiza una revisión sobre la literatura que trata con los cambios en la velocidad del reloj interno, así como propuestas alternas que se han planteado para explicar los incrementos en las magnitudes de los reportes de las duraciones percibidas.

Cuando Treisman y sus colaboradores presentaron la manipulación de secuencias de estimulación rápidas realizaron algunas predicciones específicas sobre el efecto este tipo de estimulación sobre los reportes de las estimaciones temporales. Treisman y sus colaboradores propusieron un modelo en el que el reloj interno estaba compuesto por una serie de osciladores (Treisman, 1963), y de acuerdo a las características del mismo, para obtener el mayor efecto posible de la estimulación rápida sobre las estimaciones temporales, dicha manipulación debía: 1) presentarse al mismo tiempo en que se lleva a cabo la estimación temporal, 2) con frecuencias cercanas a las frecuencias de los osciladores, y 3) a frecuencias regulares.

Por otro lado, en el modelo de la Teoría de Expectancia Escalar, el reloj se compone de un marcapaso que emite pulsos, y en este caso la estimulación rápida aumenta el nivel de activación del reloj interno, por lo que más pulsos son emitidos. Sin embargo, cuando se retomó la manipulación propuesta por Treisman para poner a prueba la hipótesis de los cambios en la velocidad del reloj interno, no se tomaron en cuenta las predicciones propuestas y su posible impacto en las estimaciones temporales. Por lo que dentro de este modelo no se especifica si alguna de las mencionadas características de la estimulación, tiene algún efecto diferencial sobre las estimaciones temporales reportadas. De hecho, cabe mencionar que, a diferencia de la manipulación original, las investigaciones que se basan en este modelo generalmente presentan

la estimulación rápida antes del estímulo cuya duración se estimará, para que en el momento en que se lleve a cabo la estimación temporal, el reloj interno esté previamente sobre activado y se emita una mayor cantidad de pulsos.

En los tres primeros experimentos que se reportan en el presente trabajo, se evalúan las tres predicciones de las características de la estimulación rápida sobre las estimaciones temporales mencionadas, para posteriormente comparar los resultados obtenidos con las hipótesis derivadas del modelo propuesto por Treisman y colaboradores, y la Teoría de Expectancia Escalar. En cada uno de los primeros tres incisos del cuarto capítulo se describen para cada uno de los tres experimentos mencionados (i. e., porcentaje de presencia, frecuencia y regularidad de la estimulación visual rápida) tanto el método como los resultados obtenidos y se presenta una breve discusión sobre los mismos.

En el cuarto inciso del mismo capítulo, se presentan los mismos apartados para el cuarto y último experimento del presente trabajo, donde se evalúa otro efecto relacionado con cambios en la velocidad del reloj interno: el efecto de modalidad sobre las estimaciones temporales. Este efecto se refiere a un resultado que se reporta comúnmente: que los estímulos auditivos se juzgan como más largos que los estímulos visuales, lo cual se ha adjudicado a que en la modalidad visual el reloj corre a una velocidad menor que cuando se presentan estímulos en la modalidad auditiva. A pesar de que se ha propuesto que esta característica de la estimulación también tiene un efecto sobre la velocidad del reloj interno, no se ha relacionado con el incremento en la magnitud de las estimaciones temporales obtenido al presentar la manipulación de estimulación rápida. En el cuarto experimento del presente trabajo se investiga una posible combinación de dichos efectos.

Posteriormente, en el quinto capítulo se presenta una discusión general que integra los resultados de los cuatro experimentos mencionados, los cuales sugieren que el reloj interno no se basa en osciladores internos como lo indica el modelo de Treisman, ya que no se encontraron resultados que apoyaran sus predicciones. En cuanto a la posible combinación del efecto de modalidad y del efecto de secuencias de estimulación rápida, se encontraron resultados que sugieren que el reloj corre a dos velocidades. Ambos resultados especifican algunas propiedades de los incrementos en la velocidad del reloj interno.

A pesar de que el incremento en la magnitud de las estimaciones temporales debido a la estimulación rápida es un efecto robusto en la literatura, el mecanismo por medio del cual se realizan estas variaciones no es muy claro. Se ha manejado que la velocidad del reloj interno depende del nivel de activación del mismo, y que los estímulos basados en secuencias rápidas aumentan dicho nivel de activación. Por ello, al presentar secuencias de estímulos aumenta la duración percibida de los estímulos. Debido a la falta de claridad en esta propuesta, en el quinto capítulo se presenta una discusión sobre esta hipótesis, y se propone un mecanismo fisiológico que podría ser la base para los cambios en la velocidad del reloj interno, basado en respuestas neuronales.

Finalmente, se presentan las conclusiones generales del presente trabajo, donde se hace una recapitulación de los puntos más importantes tanto de los resultados obtenidos, como de sus implicaciones para la Teoría de Expectancia Escalar.

## ANALOGÍA DEL RELOJ INTERNO

La estimación temporal es un fenómeno que ha causado gran interés en la Psicología. James, en su libro Principios de Psicología (1890) dedica un capítulo a la percepción del tiempo, retomando varias ideas filosóficas y resultados de los primeros estudios sobre la percepción del tiempo. Queda claro que, desde tiempo atrás, se han formulado preguntas que actualmente se están investigando, que incluyen: cómo afecta a la estimación temporal el presentar estímulos llenos o estímulos vacíos, la modalidad de los estímulos o cuál es el mecanismo fisiológico que subyace a este proceso. En dicho capítulo, James concluye que somos conscientes de un tiempo presente que probablemente dura desde algunos segundos hasta menos de un minuto, y que duraciones más largas las estimamos gracias a la suma de duraciones más pequeñas. A pesar de ser un fenómeno que causó interés desde los comienzos de la Psicología, su estudio no se desarrolló rápidamente, quizás debido a limitaciones metodológicas, sin embargo la idea de contar con unidades pequeñas que van sumando para estimar la duración de un intervalo ha permanecido y se ha utilizado como mecanismo que subyace a lo que se conoce como los relojes internos.

Las primeras analogías de un reloj interno se remontan alrededor del 1930, cuando las investigaciones en Francia de François en 1927 sobre cambios en temperatura corporal y estimación temporal inspiraron a Hoagland en 1935 a realizar experimentos mientras su esposa padecía influenza (Wearden, 2005). Hoagland se dio cuenta que cuando su esposa presentaba altas temperaturas, comentaba que le parecía que los eventos le parecían muy largos, por lo que realizó una serie de pruebas para comprobar lo que su esposa reportaba. Cuando la temperatura de su esposa aumentaba, Hoagland le indicaba que contara hasta 60 a una tasa aproximada de un conteo por segundo. Con esta sencilla tarea observó que a mayores temperaturas, más rápidos eran los conteos que su esposa realizaba y elaboró una hipótesis en base a un mecanismo químico interno similar a un reloj. Al ser este un reloj químico, este debía estar gobernado por las mismas reglas que cualquier proceso químico, por lo que al aumentar la temperatura el reloj debía correr más rápido y al disminuir la temperatura debía correr más lento. La idea de este reloj como base para estimar el tiempo tuvo gran impacto, ya que en los siguientes años se realizaron diferentes manipulaciones para poner a prueba la relación entre la temperatura ya sea corporal o

ambiental y las estimaciones temporales (Wearden, 2001; Wearden & Penton-Voak, 1995). Sin embargo, no se realizó una descripción más detallada del reloj interno propuesto; de su mecanismo o de un modelo más general sobre la estimación temporal.

Fue hasta la década de los sesentas que se comenzaron a proponer modelos cuantitativos para describir el mecanismo de un reloj interno como base para la estimación temporal. Creelman (1962) propuso un modelo para duraciones cortas que se basaba en unidades denominadas pulsos, los cuales eran almacenados en un contador y el número de pulsos almacenado servía como base para tomar una decisión sobre la duración de un estímulo. A pesar de mencionar algunas de las características de este contador como lo son la dependencia de las características del estímulo sensorial, la existencia de errores en la representación en memoria del número de pulsos acumulados, e incluso de llegar a sugerir que algún proceso neurológico subyacía a dicho contador, Creelman no ahondó más en las características de este contador, indicando que por el momento dicha descripción era “suficiente”. Sin embargo, su aportación fue esta descripción del mecanismo del reloj interno a base de un contador de pulsos, la cual fue retomada e incorporada por varios modelos de estimación temporal.

Un año después, Treisman (1963) propondría un modelo más general para medir el transcurso del tiempo basado en un reloj interno y retomando las ideas previas. Treisman reconsideró los hallazgos de Hoagland y su propuesta sobre un reloj biológico como mecanismo para la estimación temporal, aceptando que ésta se podría ver afectada por la temperatura corporal. Sin embargo, también consideró que no sólo variables de tipo biológico podrían afectar la percepción del tiempo, lo que lo llevó a proponer un modelo de procesamiento de información para dar cuenta de la estimación temporal humana. El modelo de Treisman consta de un reloj interno, el cual es un sistema más completo pero que funciona de forma similar a los modelos anteriores. Un marcapasos emite pulsos con un intervalo aproximadamente constante entre cada pulso, los cuales viajan a través de una vía de salida, mientras un contador almacena el número de pulsos, el cual puede ser almacenado en una memoria a corto plazo. Finalmente, para determinar la duración de una respuesta de reproducción motora, un comparador obtiene un valor de la memoria a corto plazo, el contador cuenta los pulsos emitidos cuando el intervalo comienza

y el comparador termina la reproducción cuando el número de pulsos contados es igual al criterio.

Sin embargo, más que la propuesta de un modelo de estimación temporal, la aportación de Treisman fue describir más profundamente algunos componentes del reloj, sobretodo el marcapasos. Los dos componentes principales del marcapasos son: un oscilador temporal y una unidad calibradora. El oscilador, a su vez, se forma por unidades elementales. Cuando cada una de estas unidades completa un ciclo dentro del oscilador, éste emite un pulso. La frecuencia a la que el oscilador emite pulsos (Frecuencia del Oscilador), generalmente se mantiene constante. La unidad calibradora recibe los pulsos del oscilador y los multiplica por un factor de calibración para dar lugar a la Frecuencia Final a la que el marcapasos envía los pulsos a los otros componentes del reloj interno. Finalmente, asumió que el marcapasos se forma no por uno, sino por varios osciladores.

Este modelo no tuvo mucho impacto en los años en que fue propuesto, sin embargo, sería retomado posteriormente cuando resurgió el interés en investigar la estimación temporal en sujetos humanos. Junto con sus colaboradores, Treisman comenzó a investigar entre otras cosas, las frecuencias características de dichos osciladores en los ritmos cerebrales (Treisman, 1984; Treisman, Faulkner & Naish, 1992) así como las propiedades de los estímulos que señalan la duración a estimar que podrían afectar a los osciladores y por lo tanto a la estimación temporal de las personas.

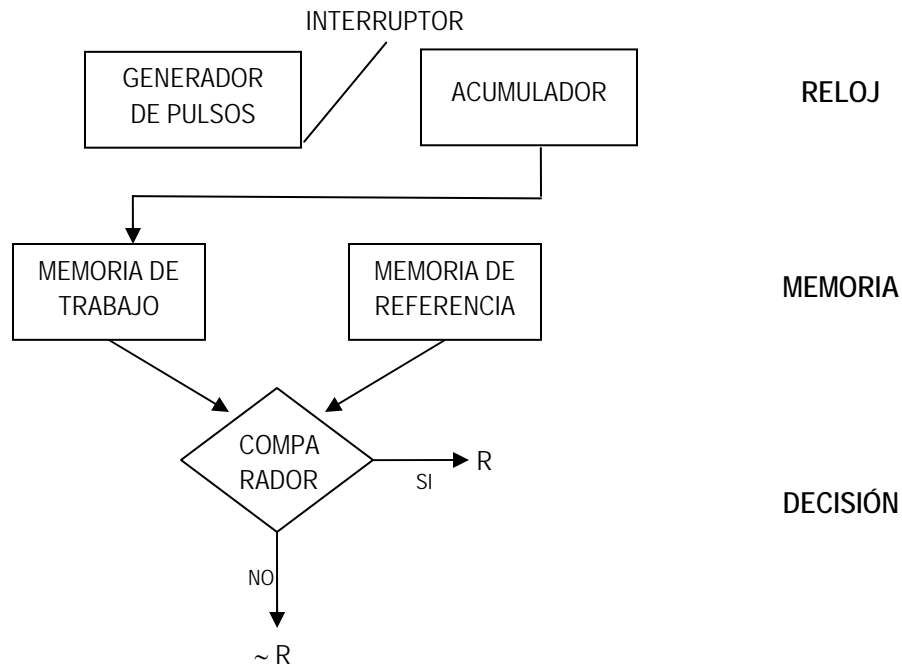
## LA TEORÍA DE EXPECTANCIA ESCALAR

A pesar de que el fenómeno de la estimación temporal comenzó a ser estudiado en humanos, el modelo que ha tenido más impacto hasta el momento se desarrolló a partir de estudios con animales. En una categoría de los programas de reforzamiento de la tradición instrumental denominada programas de intervalo, la variable que determina cuando una respuesta es reforzada es el tiempo. En un programa de intervalo, se refuerza la primera respuesta después de que ha transcurrido un intervalo de tiempo. Gibbon (1977) propuso que en este tipo de programas, el comportamiento está directamente relacionado con estimaciones del tiempo en el que se entregará el reforzador, ya que el organismo hace un estimado del tiempo en el que se entregará el reforzador y genera una expectativa de la recompensa en base a esta estimación. Así, cuando el organismo se encuentra bajo un programa de intervalo fijo, éste hace una comparación entre la expectativa momentánea y la expectativa de la entrega del reforzador, y cuando la expectativa momentánea se acerca a la expectativa del reforzador, el animal comienza a responder.

Asimismo, Gibbon propuso la hipótesis escalar, que se basó en resultados reportados por otros investigadores. Dews en 1970 (Gibbon, 1977) reportó que al graficar las tasas relativas de respuesta de los programas de intervalo fijo en función del tiempo, también con las duraciones transformadas a una en una escala relativa, las tasas de respuestas relativas se traslapan. Por otro lado, Catania en el mismo año (Gibbon, 1991) reforzó a pichones por responder ante la presencia de una señal después de cierta latencia. Obtuvo la desviación estándar y la media de la latencia, observando que el valor de la razón entre esas mediciones se mantuvo constante sin importar la magnitud de la latencia reforzada. Estos dos resultados llevaron a Gibbon a proponer la hipótesis escalar del tiempo, la cual asume que las estimaciones del tiempo son transformaciones escalares de unidades temporales encargadas de registrar el paso del tiempo. Esta hipótesis se convertiría en una propiedad básica para la teoría que posteriormente desarrollaría junto con sus colaboradores y cuyo nombre estaría basado en la propuesta de expectativa y en la hipótesis escalar.

2.1 El Modelo de Procesamiento de Información Temporal

La Teoría de Expectancia Escalar (TEE) (Gibbon & Church, 1984; Gibbon, 1991; Church, 1997; Church, 2003), propone un modelo de procesamiento de información que consiste en tres etapas: una de reloj, una segunda etapa de memoria y una tercera de decisión (Figura 1).



**Figura 1.** Componentes de la TEE

Para que la estimación temporal se lleve a cabo, estos componentes interactúan de la siguiente manera. Una señal o marcador temporal cierra el interruptor que transmite los pulsos de un generador a un acumulador; cuando la señal cesa, el interruptor se abre, deteniéndose la transmisión de pulsos. Debido a que no es un reloj periódico de tipo de ritmo circadiano, es posible que una señal lo inicie y lo detenga, y que posteriormente, la presencia de otra señal lo reinicie (Allan, 1998). Una de las características del interruptor es que hay un periodo de latencia para abrirse o cerrarse, pero una vez abierto, el contenido del acumulador crece como una función lineal del tiempo real. En cuanto a la tasa del generador de pulsos, se ha propuesto que



la emisión de pulsos es aleatoria con una distribución Poisson, con una tasa promedio constante. En general, el reloj es responsable de registrar el tiempo real u objetivo y así generar una medida de estimación temporal subjetiva.

La etapa de memoria consta de dos tipos, una memoria de referencia y una de trabajo. La memoria de referencia almacena a largo plazo los valores de pulsos de estimaciones temporales pasadas significativas. Al ser una teoría para explicar la estimación temporal animal, se definió a las duraciones significativas como aquellas duraciones que eran reforzadas. Posteriormente, al extender la teoría a la estimación temporal humana, donde no se entrega reforzador, se redefinió a estas duraciones como aquellas contra las cuales se compararán las duraciones presentadas (Delgado & Droit-Volet, 2007). Una de las características principales de la memoria de referencia es que una duración no se representa por un sólo valor en particular, sino por una distribución de valores. Los valores en la memoria de referencia no son absolutos, sino proporcionales, ya que son el resultado de multiplicar el número de pulsos dentro del acumulador por una constante. Por otro lado, la memoria de trabajo almacena el número de pulsos acumulado en el intervalo que acaba de transcurrir y su contenido se renueva con la presencia de una nueva duración.

En la etapa de decisión se compara el valor en memoria de trabajo con un valor tomado de manera aleatoria de la distribución en memoria de referencia para decidir si se emite o no una respuesta. Se han propuesto dos reglas para la emisión de una respuesta, las cuales se aplican dependiendo de las características de la tarea a realizar.

La primera regla de decisión se denomina de Proximidad Relativa, se aplica cuando sólo se estima una duración y está basada en la razón entre la diferencia del valor en memoria de trabajo y del valor obtenido de la memoria de referencia, sobre el valor de ésta última memoria. Cuando la diferencia relativa disminuye por debajo de un umbral  $\beta$ , entonces se comienza a emitir la respuesta. Cuando el valor de la diferencia sobrepasa este umbral, se deja de emitir la respuesta:

$$(n^* - n) / n^* < 1 - \beta,$$

donde  $n^*$  es el valor obtenido de memoria y  $n$  es el número de pulsos contados hasta el momento.

Por otro lado, cuando se trabaja con dos duraciones, se aplica la Regla de Similitud, donde se obtiene la razón de la similitud entre el valor en memoria de Trabajo y el valor de la duración *menor* almacenada en memoria de Referencia, sobre la similitud entre el primer valor con aquél valor representativo para la duración *mayor* obtenido de la memoria de Referencia. ( $SIM(x,y) = \text{Min}(x,y) / \text{Max}(x,y)$ ) Si esta razón excede un umbral  $\beta$ , entonces se emite la respuesta para la duración menor, en caso contrario se responde a la duración mayor:

$$SIM(n, n^*) > \beta$$

Ambas reglas operan con base en comparaciones relativas para dar cuenta de la propiedad escalar. Como se mencionó, la propiedad escalar se manifiesta al sobreponerse las funciones representativas de las respuestas correspondientes a diferentes duraciones en una escala de tiempo relativa, y a la estabilidad del valor del coeficiente de variación (desviación estándar/ media del valor de la duración estimada) para estimaciones de diferentes duraciones. Este coeficiente es un tipo de fracción de Weber que mide la sensibilidad relativa al tiempo, donde valores pequeños muestran una alta sensibilidad temporal y valores grandes poca sensibilidad (Ferrara, Lejeune & Wearden, 1997). Tanto la superposición como la estabilidad del coeficiente de variación implican que la sensibilidad temporal es relativa, i.e. para percibir el transcurso del tiempo en dos intervalos diferentes es necesario que transcurra cierta proporción de tiempo (p. e., 10% de la duración total) y no una misma cantidad absoluta de tiempo (p. e., 10s). Esta relatividad de la sensibilidad temporal es la denominada propiedad escalar y requiere que la media del tiempo estimado crezca linealmente con el tiempo objetivo y que la varianza de las estimaciones incremente con el cuadrado de su media.

Del mismo modo, se ha reportado que la estimación temporal no es exacta, por lo que la TEE propone varias fuentes de variabilidad. El ser la primera teoría que explicó esta variabilidad es una de las razones por las que la TEE fue y continúa siendo una de las teorías predominantes de la estimación temporal. La variabilidad de la estimación temporal se explica como resultado de la variabilidad escalar que subyace en la tasa del generador de pulsos, en la constante que

traduce el valor almacenado en el acumulador a la memoria de referencia, así como en el umbral de decisión, aunque para mantener la propiedad escalar son indispensables la variabilidad escalar tanto en memoria como en el umbral (Gibbon & Church, 1990).

## 2.2 Generalización a la Estimación Temporal Humana

Al ser la TEE un buen modelo para predecir el comportamiento animal resultado de estimaciones temporales, se buscó su generalización a la estimación temporal humana donde se convirtió en el modelo predominante (Allan, 1998; Wearden, 2003). El primer paso fue hacer las tareas temporales como el procedimiento de pico, la tarea de generalización temporal y la tarea de bisección (Church & Deluty, 1977; Roberts, 1981; Church & Gibbon, 1982) lo más parecido posible entre ambos tipos de sujetos y probar si la propiedad escalar se mantiene, por lo que las primeras investigaciones se avocaron a estas cuestiones encontrando que la TEE era generalizable a la estimación temporal humana (Wearden & McShane, 1988; Allan & Gibbon, 1991; Wearden, 1991a; Wearden, 1991b; Rakitin, Gibbon, Penney, Malapani, Hinton & Meck, 1998), aunque se encontraron algunas diferencias.

Una diferencia metodológica que permanece entre ambas líneas de investigación es el valor de las duraciones presentadas: en investigación animal se utilizan duraciones mayores a 2 segundos, mientras que generalmente con sujetos humanos se presentan duraciones menores a 2 segundos, para evitar que el conteo mejore la exactitud de la estimación temporal, ya que se ha reportado que con duraciones menores a 1,123 ms el conteo no tiene efecto sobre la estimación temporal (Grondin, Meilleur-Wells, & Lachance, 1999; Grondin, Oullete, Roussel, 2004). Sin embargo, en la investigación temporal humana también se han utilizado duraciones en el rango de segundos, encontrando que las predicciones del modelo se mantienen (Wearden, Denovan, Fakhri, & Haworth, 1997; Wearden, Rogers & Thomas, 1997), presentando tareas simultáneas que eviten el conteo.

Una diferencia que se suele encontrar entre la estimación temporal humana y la animal son los valores de la Fracción de Weber, ya que los valores para humanos suelen ser significativamente menores que aquellos de los sujetos animales (Fetterman & Killeen, 1992).

Asimismo, se ha encontrado una diferencia al presentar la tarea de bisección: en investigación animal se ha reportado al punto de bisección, (i.e. aquella duración a la que se es indiferente) cercano a la media geométrica (Church & Deluty, 1977; Meck, Church & Gibbon, 1985; Morrissey, Wogar, Bradshaw & Szabadi, 1993) y se ha concluido que esta tarea sugiere un proceso temporal logarítmico (Gibbon, 1986). Sin embargo, en estudios con humanos, se ha localizado al punto de bisección tanto en la media aritmética (Wearden, 1991b) como en la geométrica (Allan & Gibbon, 1991). Se ha sugerido que esta variación se debe a diferencias metodológicas entre los estudios con humanos, como el espaciamiento entre estímulos (Wearden & Ferrara, 1995; Allan, 2002; Brown, McCormack, Smith & Stewart, 2005), la razón entre los estímulos largo y corto (Wearden & Ferrara, 1996) y la modalidad de los estímulos (Penney, Allan, Meck & Gibbon, 1998).

### 2.3 Propiedades de los componentes de la TEE

Debido a que la TEE predice la estimación temporal animal y humana, se comenzaron a investigar las propiedades de los componentes de la teoría. El primer componente que se comenzó a investigar fue el reloj interno y se reportaron tres propiedades básicas del reloj: su velocidad se puede incrementar o disminuir, se puede detener y reiniciar (Church, 1978; Church, 1984). La propiedad del cambio en la velocidad del reloj interno se refiere a que el número de pulsos liberado aumenta (velocidad incrementada) o disminuye (velocidad disminuida) y se presentará a detalle en el siguiente capítulo. La detención del reloj se refiere a que cuando se estima la duración de una señal y se interrumpe por cierto tiempo, el reloj se detiene, almacenando los pulsos acumulados, y el interruptor se cierra nuevamente cuando se vuelve a presentar la señal (Roberts, 1981). Sin embargo, también se ha sugerido que el reloj se reinicia, es decir que cuando se presenta la interrupción, el reloj se detiene y a diferencia del caso de cuando se detiene, no almacena los pulsos acumulados en la primera presentación de la señal. (Roberts, Cheng, & Cohen, 1989). Aunque en un comienzo se consideraba a estas dos hipótesis como dos estrategias excluyentes y como propiedades exclusivas del reloj, posteriormente se sugirió que eran dos estrategias que reflejaban un decaimiento en memoria (Cabeza de Vaca, Brown, & Hemmes, 1994). Así, cuando la señal se interrumpe, el reloj se detiene y el número de

pulsos acumulados se pierde por un decaimiento en memoria de trabajo debido al paso del tiempo, por lo que la pérdida de pulsos depende de la duración de la interrupción. También se sugirió que estas estrategias no son excluyentes y que dependen de la duración y de la localización de la interrupción y su similitud con el intervalo entre ensayos.

Previo a la hipótesis de decaimiento, se había descrito como parte de las propiedades en memoria, el fenómeno del acortamiento subjetivo (Spetch & Wilkie, 1983), el cual se refiere a una disminución en el valor de la duración estimada que se observa al presentar una demora entre la duración a estimar y el momento de emitir la respuesta. Este decremento en la estimación temporal se ha adjudicado a una pérdida de pulsos en memoria de Trabajo. Este fenómeno ha sido descrito tanto en sujetos animales (Church, 1980) como en humanos (Wearden & Ferrara, 1993). Y en estos últimos participantes se ha estudiado si el acortamiento subjetivo se debe al paso del tiempo o a una interferencia resultado de la presencia de otro estímulo u otra tarea (Wearden and Culpin, 1998; Wearden, 1999). También se han investigado las propiedades de la memoria aplicando drogas (vasopresina y oxitocina) que facilitan o dificultan el aprendizaje (Meck, 1983). Al aplicar cada una de las drogas por separado, después de establecida la discriminación de las duraciones, se obtuvo un cambio en la estimación temporal permanente, el cual se debió a que se alteró el valor almacenado en memoria, lo que es definitivo para todos los ensayos posteriores. Posteriormente, Meck, Church y Olton, (1984) obtuvieron el mismo cambio permanente al lesionar el hipocampo, llegando a la misma conclusión: los efectos obtenidos al modificar el valor en memoria son definitivos. Finalmente, se ha sugerido que no es necesario consolidar una memoria de referencia para realizar la estimación temporal, ya que hay tareas que no permiten una distribución de valores en esta memoria, debido a que las duraciones presentadas varían en cada ensayo presentado (Wearden & Towse, 1994; Rodríguez-Girones & Kacelnik, 1998; Delgado & Droit-Volet, 2007). Por lo que se ha sugerido que la variabilidad en las estimaciones temporales no provienen de esta memoria, sino de otros componentes, como el reloj interno (Wearden & Bray, 2001).

A comparación de los otros componentes de la TEE, se ha realizado menos investigación sobre la etapa de decisión. En estudios con participantes humanos se ha logrado manipular los criterios para juzgar la duración de un estímulo por medio de dar incentivos o implementar pagos

para incrementar o disminuir la aparición de ciertas respuestas (Wearden and Culpin, 1998; Wearden & Grindrod, 2003) o bien al manipular la dificultad de los juicios temporales al utilizar rangos de duraciones muy pequeños (Wearden & Ferrara, 1996). Ambos efectos han sido modelados variando el valor del umbral de respuesta, el parámetro  $\beta$ , (Wearden, 2004).

## 2.4 Bases Fisiológicas

Posteriormente y debido al apoyo empírico del modelo, se comenzó a investigar sus sustratos neurológicos y buscar las áreas cerebrales que realicen la tarea de cada componente propuesto por la teoría. Sin embargo, no se ha encontrado un consenso claro respecto a las áreas cerebrales participantes (Lewis & Miall, 2003), lo que podría indicar que diferentes sistemas participan en las variantes de la estimación temporal (Gibbon, Malapani, Dale & Gallistel, 1997). Por un lado se menciona que tanto los ganglios basales como la corteza son estructuras cruciales sólo para la estimación de duraciones largas (Hazeltine, Helmuth & Ivry, 1997); por otro lado, se indica que estas estructuras sólo son importantes para intervalos cortos (Rammsayer, 2003). Sin embargo, varios estudios temporales con imaginería por resonancia magnética (fMRI) (Rao, Mayer & Harrington, 2001; Meck & Benson, 2002; Hinton & Meck, 2004; Pastor, Day, Macaluso, Friston & Frackowiak, 2004); manipulación de fármacos (Rammsayer, 1997; Drew, Fairhurst, Malapani, Horvitz & Balsam, 2003); registros de la actividad celular (Matell, Meck & Nicoleis, 2003a, 2003b); y en pacientes con Parkinson (Artieda, Pastor, Lacruz & Obeso, 1992; Malapani, Deweer & Gibbon, 2002) han coincidido en sugerir la activación de los ganglios basales en tareas temporales, por lo que se propone que esta área es crucial para el procesamiento temporal. La primera propuesta, basada en estudios farmacológicos, indicó que probablemente los ganglios basales son la base fisiológica para el reloj interno, mientras que para los componentes atentos y de memoria, es la corteza frontal, estando estos dos sistemas conectados por circuitos frontales-estriatales (Meck, 1996).

Posteriormente, Matell & Meck (2000; 2004) desarrollarían esta hipótesis y propondrían el modelo neurobiológico para la TEE, denominado de frecuencias de señales estriatales, el cual se basa en un circuito córtico-estriatal-talámico-cortical. En sus estudios se registra la actividad

neuronal de estas regiones cerebrales, encontrando que ciertas neuronas responden mejor a unas duraciones que a otras, por lo que el modelo propone que la actividad de las neuronas corticales y talámicas funcionan como señales del reloj interno. Cuando se entrega el reforzador, las sinapsis cortico-estriatales activas se fortalecen gracias a la liberación de dopamina de la sustancia negra pars compacta. Posteriormente, cuando se presenta un estímulo cuya duración se estimará, pulsos de dopamina de la sustancia negra reinician el estado de reposo de las neuronas medianas espinales mientras que pulsos de dopamina en el área ventral tegmental sincronizan los patrones de disparo de las neuronas corticales. Así, las neuronas estriatales espinosas reconocen la actividad sináptica reforzada (Beiser & Houk, 1998), e inhiben las estructuras de salida de los ganglios basales, por lo que el tálamo se desinhibe, permitiendo la excitación de la corteza para generar una respuesta. Al asumir variabilidad en las oscilaciones corticales, así como en el umbral para el disparo estriatal, es posible modelar la propiedad escalar.

## 2.5 Aplicaciones

A pesar de que continúa la investigación sobre las bases fisiológicas de los componentes de la TEE, se ha buscado probar la teoría en poblaciones específicas, principalmente aquellas donde se ven comprometidas las estructuras propuestas como las bases fisiológicas de la estimación temporal, como lo son pacientes con enfermedad de Parkinson o con el trastorno de déficit de atención e hiperactividad (TDAH). En los pacientes con enfermedad de Parkinson se ha observado una mayor variabilidad en la estimación temporal (Artieda et al, 1992) y se ha descrito el efecto de migración que se manifiesta en pacientes con Parkinson y se refiere a una sobreestimación de intervalos cortos y una subestimación de intervalos largos. Este efecto se ha explicado como resultado de un déficit en la recuperación del valor en memoria de referencia como resultado del mismo síndrome (Malapani, Deweer & Gibbon, 2002). También se han sugerido que los déficits en la estimación temporal son debidos a una disminución de los recursos atentos (Riesen & Schnider, 2001; Smith, Harper, Gittings, & Abernethy, 2007). Asimismo, se han observado mayores umbrales de discriminación en la estimación temporal en niños con TDAH (Toplak, Dockstader, & Tannock, 2006; Durston, Davidson, Mulder, Spicer, Galvan, Tottenham, Scheres, Castellanos, van Engeland, & Casey 2007), lo cual se ha

adjudicado a que el procesamiento de la estimación temporal comparte algunas de las estructuras fisiológicas que se ven comprometidas en el trastorno (Yang, Chan, Zou, Jing, Mai & Li, 2007). Una vez que se tenga bien establecidas las relaciones entre las bases fisiológicas de este tipo de trastornos y aquellas de la estimación temporal, las tareas temporales podrían utilizarse como un método de diagnóstico preciso y no invasivo de este tipo de déficits.

Finalmente, se ha investigado el fenómeno de la estimación temporal en el desarrollo infantil, dentro de un rango de edad de 3 a 12 años, utilizando las mismas tareas que con adultos. Una diferencia notable en las tareas con niños es que es necesario agregar más fases para asegurar la discriminación de las duraciones, sobretodo con los niños pequeños (Droit-Volet & Wearden, 2001; Droit-Volet, Clement & Wearden, 2001). En general, la TEE también es un buen modelo para la estimación temporal en niños, ya que desde las edades más pequeñas se manifiesta la propiedad escalar (Droit-Volet, 2002), aunque se ha observado que con los niños pequeños la estimación temporal es muy variable y conforme el desarrollo avanza, la estimación temporal mejora notablemente. Esta mejora ha sido atribuida a una consolidación de las zonas frontales y por lo tanto a un mejor control atento por parte de los niños (McCormack, Brown, Maylor, Darby, & Green, 1999; Rattat & Droit-Volet, 2001). El estudio del desarrollo de la estimación temporal se ha extendido a la población adulta mayor, cuyas respuestas también muestran la propiedad escalar así como una mayor variabilidad a comparación de los adultos jóvenes. Sin embargo, se ha sugerido que esta variabilidad no parece ser ocasionada por las mismas causas que en los niños, ya que la variabilidad de las respuestas de los adultos mayores no se manifiesta en todas las tareas además de que con las condiciones apropiadas (i.e., retroalimentación o mayor número de ensayos), esta variabilidad desaparece (Wearden, Wearden, & Rabbitt, 1997). Por ello se ha sugerido que los componentes responsables en el caso de los adultos mayores son el umbral de decisión (McCormack, et al, 1999) o la velocidad del reloj (Carrasco, Bernal & Redolat, 2001). Aunque por otro lado se ha sugerido que las alteraciones en la estimación temporal por envejecimiento se deben a los cambios correspondientes en las regiones frontales (Gunstad, Cohen, Paul, Luyster, & Gordon, 2006).



## 2.6 Teorías Alternas de Estimación Temporal

A pesar de la influencia de la TEE en la investigación temporal tanto animal como humana, se continúa desarrollando nuevas teorías para explicar hallazgos sobre la estimación temporal que la TEE no puede explicar, principalmente en el caso de la estimación temporal animal. Una de las primeras propuestas alternas a la TEE, fue la contraparte desde una perspectiva conductual. La “Teoría Conductual de la Estimación Temporal” (Killeen & Fetterman, 1988) propuso que la conducta de los organismos media la discriminación del paso del tiempo, basándose en las relaciones de las diferentes conductas adjuntivas (i.e., iniciales, interinas y terminales) con el reforzador. Cada una de estas conductas se relaciona a un estado conductual, los cuales se inician por la liberación de un pulso desde un reloj interno. Dicha liberación de pulsos se realiza de acuerdo a una distribución Poisson y se ve afectada por la tasa de reforzamiento (Fetterman & Killeen, 1991). La duración de cada estado varía así como las tasas de respuesta que ocurren dentro de cada estado. A diferencia de la Teoría de Expectancia Escalar, la Teoría Conductual de la Estimación Temporal no propone un mecanismo especializado para la estimación de las duraciones, sino propone que los organismos únicamente discriminan su propia conducta y la utilizan como predictor de la ocurrencia de eventos relevantes, tal como lo es la entrega del reforzador. (Fetterman, Killeen & Hall, 1998).

La TEE fue desarrollada para explicar la propiedad Escalar, por lo que predice la conducta animal en estado estable, sin embargo, no puede dar cuenta de la adquisición del control temporal de la conducta. Otra aproximación conductual se desarrolló para este fenómeno y se denominó como la teoría “Aprendiendo a Estimar el tiempo” (Machado, 1997). Esta teoría retoma ideas de la Teoría Conductual de la Estimación Temporal, ya que propone nuevamente estados conductuales, los cuales se relacionan a la respuesta instrumental a través de ligas asociativas. Sin embargo, esta teoría especifica como es que se relaciona cada estado conductual a la respuesta instrumental: al principio todos los estados tienen una liga con dicha respuesta, sin embargo, estas se van debilitando (extinción) o fortaleciendo (reforzamiento). Así, al final de una etapa de adquisición, únicamente los estados conductuales cercanos al reforzamiento soportarán la respuesta instrumental. Con estos componentes, esta teoría predice la conducta de los animales

ante señales y relaciones temporales específicas, como por ejemplo, colores específicos asociados a ciertas duraciones. (Machado & Keen, 1999).

Otra teoría que trató de extender las propuestas de la TEE a la adquisición y la extinción de las relaciones temporales con la conducta fue la “teoría de estimación de tasa” (Gallistel & Gibbon, 2000), la cual propuso que los organismos estiman las tasas de reforzamiento ante cualquier señal y las utilizan para obtener la razón de la tasa de reforzador ante una señal (i. e., el estímulo condicionado) sobre la tasa ante otra señal (i. e., los estímulos de fondo). En el primer caso, el valor de la tasa se mantiene constante siempre y cuando se entregue el reforzador en presencia de dicha señal. En cambio con señales que no están relacionadas con el reforzador, el valor de la tasa va disminuyendo conforme éstas se presentan más veces. Así, conforme aumenta el número de presentaciones de cada señal, el animal tiene mayor certeza que el estímulo condicionado tiene un efecto en la tasa de entrega de reforzador. El organismo obtiene una razón entre ambas tasas y cuando dicha razón excede un umbral, comienza a responder exclusivamente ante la presencia de la señal. La misma regla se aplica en el caso de la extinción, pero en el orden inverso: la tasa de reforzamiento ante el estímulo condicionado disminuye, por lo que conforme los ensayos de extinción transcurren, la razón deja de exceder el umbral y la respuesta del organismo se extingue.

Finalmente y más recientemente se desarrolla la “teoría modular de paquetes de respuesta”, la cual integra ideas de la TEE, así como del modelo de Rescorla y Wagner para dar cuenta tanto de la adquisición como de la extinción de la respuesta, así como para diferenciar el patrón de la tasa de respuesta (Guilhardi, Yi, & Church, 2007). Esta teoría, al igual de la TEE, se basa en módulos, (i. e., un reloj, un almacén perceptual, una memoria de patrón y una de fuerza de respuesta y uno de decisión), de los cuales se han desarrollado con mayor detalle las memorias. La memoria de patrón de respuesta se basa en la experiencia y es una función de la aparición de la señal y del tiempo esperado de la entrega del reforzador, mientras que la memoria de fuerza de respuesta se relaciona con la tasa de reforzamiento. Asimismo, como su nombre lo indica, esta teoría predice la aparición de paquetes de respuestas, que es lo que generalmente se observa en las respuestas de los organismos en tareas de producción como el IF o el

procedimiento de pico. Sin embargo, como los autores señalan, aun hace falta desarrollar la teoría para generalizarla a varios tipos de respuesta y diferentes procedimientos.

A pesar de que las teorías mencionadas tratan con fenómenos que la TEE no puede explicar, todas se enfocan a la investigación animal. Se han realizado investigaciones en las que se toma a la conducta humana (p. e., el conteo o bien respuestas mas observables como la sincronización motora (tapping)) como una estrategia para la estimación temporal, observando una mayor precisión en las estimaciones con dichas estrategias, como lo indican las teorías conductuales (Fetterman & Killeen, 1990). Sin embargo, hasta el momento, ninguna de las teorías mencionadas se ha logrado generalizar a la estimación temporal humana con el éxito de la TEE, por lo que ésta continua siendo la teoría predominante en dicha área.

## INCREMENTO EN LA VELOCIDAD DEL RELOJ INTERNO

Como se mencionó, uno de los primeros intereses en la percepción del tiempo, fue dar una explicación a las alteraciones en la estimación temporal, por ejemplo, los estudios que Hoagland realizó cuando su esposa padecía influenza. Este fenómeno también fue retomado por la TEE al estudiar las propiedades del reloj interno (Church, 1978; Church, 1984; Roberts, 1981).

Una de las propiedades del reloj interno es que su velocidad se puede incrementar, i.e. la tasa a la que se liberan los pulsos del generador aumenta, por lo que, en el mismo periodo de tiempo, se almacena una mayor cantidad de pulsos a comparación de las ocasiones en que el reloj corre a su velocidad normal. La velocidad del reloj también se puede disminuir, y en este caso, la tasa a la que el generador libera pulsos disminuye, por lo que en el mismo periodo de tiempo se almacenan menos pulsos, a comparación de cuando el reloj corre a su velocidad normal.

### 3.1 Manipulaciones Fisiológicas

En los primeros estudios sobre los cambios en la velocidad del reloj interno de la TEE, se realizaron manipulaciones fisiológicas en animales. Se han aplicado drogas que alteran el nivel de dopamina dentro de los organismos, como los son: la metanfetamina, el haloperidol y la cocaína (Maricq, Roberts & Church, 1981; Buhusi & Meck, 2002; Matell, King & Meck, 2004). Otras manipulaciones han sido la presentación de choques eléctricos (Meck, 1983); o la manipulación de la ingesta de nutrientes como proteínas, carbohidratos o sacarosa (Meck & Church, 1987a). En estos estudios se ha observado que estas manipulaciones alteran la velocidad del reloj interno en diferentes tareas temporales, como la tarea de bisección y la tarea de pico. Cuando se incrementa la velocidad del reloj interno, las funciones que relacionan el tiempo con la respuesta del sujeto (p. e., la proporción de respuestas a 'largo' en la tarea de bisección o la tasa de respuesta en el procedimiento de pico), se desplazan a la izquierda de aquellas funciones en las que el reloj corre a su velocidad normal (i. e., sin la droga). Por el contrario, cuando la velocidad del reloj disminuye, dichas funciones se desplazan a la derecha de aquellas en las que el reloj corre a su velocidad normal.

A partir de estos estudios se concluyó que los cambios en la velocidad del reloj interno se debían al nivel efectivo de dopamina en las sinapsis (Meck, 1983): al aumentar la liberación de dopamina e inhibir su reabsorción, se incrementa el nivel de dopamina, lo que acelera al reloj interno (i.e., al aplicar metanfetamina, choques eléctricos y cocaína). Mientras que al bloquear los receptores de dopamina y reducir el nivel efectivo del neurotransmisor disminuye la velocidad del reloj (i.e., al aplicar haloperidol). En estos estudios se ha observado que al eliminar la droga, las funciones se desplazan en la dirección contraria, regresando a su localización inicial, por lo que se ha sugerido que una característica de los cambios en la velocidad del reloj es que éstos no son permanentes, ya que en cuanto se elimina la droga la velocidad del reloj interno regresa a su velocidad base.

A pesar de los resultados tan claros obtenidos en los primeros estudios, esta aproximación continúa siendo investigada, ya que se ha encontrado bastante irregularidad en los datos reportados. Por un lado, existen resultados en diversos estudios que continúan apoyando la relación entre el nivel de dopamina y la velocidad del reloj interno (Matell, Bateson & Meck, 2006; Meck, 2006a; 2006b; Cheng, Hakak & Meck, 2007), ya que encuentran los desplazamientos que confirman la hipótesis. Por otro lado hay estudios que encuentran una relación entre la droga y una pérdida de control del estímulo (Santi, Coppa & Ross, 2001; Drew, et al, 2003; Odum & Ward, 2007) o cambios en la tasa de respuesta (Odum, 2002; Odum, Lieving & Schaai, 2002) pero sin encontrar cambios en la velocidad del reloj, ya que no encuentran cambios en la localización de las funciones, sino en las pendientes de las mismas. Finalmente, hay estudios que encuentran tanto cambios en la velocidad del reloj como efectos en la ejecución (Cevik, 2003), en el mecanismo de reinicio o reseteo del reloj (Buhusi & Meck, 2002), o en la distribución de las respuestas (Chiang, AI-Ruwaitea, Mobini, Ho, Bradshaw & Szabadi, 2000), ya que encuentran tanto desplazamientos de las funciones como cambios en otras medidas del comportamiento animal.

Las diferentes tendencias en los resultados de las investigaciones mencionadas han sido adjudicadas al control de las contingencias temporales sobre el comportamiento, ya que los estudios que no muestran una relación entre la dopamina y la velocidad del reloj interno reportan menor control temporal de los estímulos en las condiciones de línea base que aquellos estudios

que si muestran dicha relación (MacDonald & Meck, 2004). Asimismo, se ha mencionado que no cualquier droga que aumente los niveles de dopamina es responsable de los cambios de la velocidad del reloj, sino que es necesario que la droga aumente específicamente los niveles de dopamina en el estriado y no en otras áreas cerebrales (Cheng, MacDonald & Meck, 2006).

En cuanto a la estimación temporal humana también se ha manipulado fisiológicamente la velocidad del reloj interno, administrando haloperidol (Rammsayer, 1997) o cafeína (Botella, Bosch, Romero & Parra, 2001; Gruber & Block, 2003), obteniendo resultados que confirman el efecto de la dopamina sobre la velocidad del reloj interno, i. e., un incremento o decremento de la magnitud de los tiempos subjetivos reportados. También se ha sugerido que el efecto de la cafeína sobre la estimación temporal es a través de receptores específicos (i.e.,  $D_1$ ), ya que la dopamina también tiene efectos sobre la atención a través de otros receptores (i. e.,  $D_2$ ) (Gruber & Block, 2005).

### 3.2 Manipulaciones en la Estimación

Sin embargo, para evitar administrar drogas a humanos, Treisman y sus colaboradores (Treisman, Faulkner, Naish, & Brogan, 1990; Treisman & Brogan, 1992), diseñarían una manipulación en la estimación para probar el modelo de estimación temporal de Treisman antes mencionado, el cual se basa en el número de ciclos de los osciladores internos propuestos. Treisman y colaboradores propusieron que era posible alterar los ciclos de los osciladores por medio de estímulos con frecuencias cercanas a las frecuencias de los osciladores. Específicamente indicaron que al presentar estímulos con una frecuencia mayor a la de los osciladores aumentaría la activación de éstos, lo que a su vez aumentaría la frecuencia de emisión de pulsos, provocando incrementos en el tiempo subjetivo reportado. Por otro lado, si se presentan estímulos con una frecuencia menor a la del oscilador, entonces la activación de los mismos disminuirá, reduciendo la emisión de pulsos, provocando subestimaciones temporales, disminuyendo el tiempo subjetivo reportado. En estos estudios se reportó que al acompañar estímulos visuales con secuencias rápidas de estímulos auditivos (clicks), aumentaba el tiempo subjetivo reportado. Asimismo, presentaron secuencias rápidas de estímulos visuales

(parpadeos), confirmando el efecto. Con estos resultados concluyeron que estos tipos de estímulos provocan “altos” niveles de estimulación, lo cual incrementa la tasa de los osciladores y por lo tanto el número de pulsos liberado. Además, indicaron que el efecto de cada estímulo que forma parte de la secuencia es acelerar únicamente un ciclo del oscilador temporal, por lo que es necesario presentar los clicks o parpadeos simultáneamente con la estimación temporal.

Tanto la noción de activación como la manipulación se adaptaron para estudiar la aceleración del reloj interno de la TEE. En cuanto al nivel de activación se ha investigado la relación entre el nivel de activación del reloj y su velocidad, observándose que al disminuir la activación, medida por una batería de preguntas mientras los sujetos realizaban la misma tarea por un largo periodo de tiempo, las duraciones se subestiman (Wearden, Pilkington & Carter, 1999). Asimismo, se ha relacionado la ingesta de cafeína diaria con la estimación temporal, encontrando una curva con forma U (i.e., mejores estimaciones temporales con dosis moderadas que con bajas o altas dosis), similar a la curva con forma U que relaciona al nivel de activación con la ejecución de tareas (Stine, O'Connor, Yanko, Grunberg, & Klein, 2002). Finalmente, como se mencionó anteriormente, se ha mostrado a lo largo de diferentes reportes desde el inicio del estudio de la estimación temporal que el manipular el nivel de activación de los sujetos por medio de modificaciones en la temperatura corporal altera las estimaciones temporales (Wearden & Penton-Voak, 1995).

La manipulación ideada por Treisman y colaboradores se modificó, presentando la secuencia de estímulos auditivos antes de estimar la duración, i.e. se presenta la serie de clicks auditivos y posteriormente el estímulo que marca la duración a estimar (Penton-Voak, Edwards, Percival, & Wearden, 1996). Se ha sugerido que la estimulación rápida incrementa el nivel de activación del reloj, aumentando la tasa de liberación de pulsos, induciendo sobreestimaciones temporales. Esta manipulación se ha aplicado en tareas temporales como: generalización temporal; estimación verbal de duraciones (Wearden, Edwards, Fakhri & Percival, 1998); comparación de estímulos (Grondin, 2001); y la tarea de bisección (Wearden, et al, 1999), presentando esta última también a niños, obteniendo el mismo efecto sobre las estimaciones temporales (Droit-Volet & Wearden, 2002; experimento no publicado). Sin embargo, el aumento en la estimación temporal con esta manipulación se puede deber a un efecto de asimilación

(Wearden, Philpott, & Win, 1999), el cual indica que los sujetos toman en cuenta la duración del estímulo presentado previamente para realizar su juicio sobre la duración del segundo estímulo y por ello su estimación sobre el tiempo transcurrido aumenta.

Sin embargo, Wearden y sus colaboradores rechazan esa posibilidad considerando que se ha presentado la secuencia de estímulos auditivos antes de 1) estímulos auditivos, 2) de estímulos visuales, 3) de estímulos auditivos llenos (tonos) y 4) de estímulos vacíos (duraciones marcadas por la presentación de un click al inicio y un click al final). Por lo tanto, estos autores indican que para considerar al efecto de asimilación como causa del incremento en la magnitud de las duraciones percibidas, se tendría que asumir que la asimilación se da de un tipo de estímulo (la estimulación rápida) a otros tipos de estímulos (estímulos en otras modalidades, estímulos llenos y vacíos). Para que esto fuera posible, se tendría que considerar que el interruptor del reloj interno se cierra no sólo cuando se presenta un estímulo relevante para la estimación temporal, sino también ante la presencia de estímulos irrelevantes (estimulación rápida), y además que el acumulador almacena indistintamente los pulsos acumulados durante la presencia de ambos estímulos. Cabe mencionar que aunque los autores se basan en esta evidencia para descartar un efecto de asimilación, esta no es suficiente, ya que como se mencionó previamente, una de las propiedades del reloj es que éste puede ser detenido: cuando se presenta una interrupción en una señal, se almacenan los pulsos que lleva acumulados hasta el momento y, cuando la señal continúa, se continua acumulando los pulsos liberados. Al final del segundo segmento de la señal se juzga la duración a partir de los pulsos acumulados durante ambas partes de la señal.

Sin embargo, existen investigaciones que eliminan completamente la posibilidad de que los incrementos en los reportes de las duraciones reportadas se deban a un efecto de asimilación. En una de investigaciones, se presentó la estimulación rápida (ya sea en la modalidad visual o auditiva) junto con el estímulo cuya duración se estimaría (Treisman et al, 1990; Treisman & Brogan, 1992). En otra investigación se solicitó a los sujetos que estimaran las duraciones de los mismos estímulos parpadeantes (Ortega & López, 2008). Con estas manipulaciones, ambos estudios descartan un efecto de asimilación, reportando resultados que apoyan con la hipótesis del incremento en la velocidad del reloj interno.



En cuanto a los resultados que reflejan un cambio en la velocidad del reloj interno, como se mencionó previamente, los estudios farmacológicos con animales en las tareas de estimación temporal muestran que un incremento en la velocidad del reloj provoca desplazamientos a la izquierda de la función psicofísica, y un decremento en la velocidad desplazamientos hacia la derecha. Teóricamente, de acuerdo con los componentes de la TEE, el incrementar la velocidad del reloj interno puede dar como resultado tanto a desplazamientos tanto a la derecha como a la izquierda, dependiendo de la memoria en que se almacene el valor de los pulsos acumulados. Si se acelera la emisión de pulsos únicamente cuando éstos se almacenan en memoria de Referencia, se obtendrán desplazamientos hacia la derecha, debido a que el valor en memoria de Trabajo será menor al de memoria de Referencia. En cambio, si existe un valor almacenado en memoria de Referencia, resultado de una tasa de generador de pulsos normal, y se compara con estimaciones posteriores durante las cuales la velocidad del reloj se incrementa, se obtendrán desplazamientos hacia la izquierda; ya que el valor almacenado en memoria de Trabajo será mayor al valor almacenado en memoria de Referencia.

### 3.3 Explicaciones alternas

Existen otras propuestas para explicar los sesgos en la estimación temporal que derivan en desplazamientos de la función psicofísica. Un grupo de estas propuestas indican que estos cambios también se deben a alteraciones en la función del reloj interno, sin embargo, toman en cuenta el nivel atento destinado a procesar información temporal. La principal manipulación es presentar una tarea adicional a la tarea de estimación temporal. La primera aproximación fue la Teoría de la Puerta Atentiva (Zakay & Block, 1997), la cual añade un módulo (la puerta) entre el marcapasos y el interruptor de la etapa del reloj interno de la TEE. Cuando la atención se dirige hacia la tarea temporal, el número de pulsos acumulados se actualiza, ya que la puerta se abre, pero cuando la atención se dirige a otra tarea, el acumulador no se actualiza. Así, la teoría dio cuenta de que en una tarea de reproducción temporal las reproducciones son más largas y variables cuando se realiza una tarea adicional a cuando no se realiza la tarea (Block & Zakay, 1997; Brown, 1997). Finalmente, la dificultad de la segunda tarea también influye en la

magnitud de las reproducciones temporales, ya que si la segunda tarea es muy sencilla, las reproducciones no se alteran, y entre más demandante sea, mayor es el efecto (Zakay, 1993).

Una crítica a la Teoría de la Puerta Atentiva indicó que no es necesario añadir otro módulo entre el marcapasos y el acumulador, sino que el funcionamiento del mismo interruptor puede explicar los mismos resultados (Lejeune, 1998). Cuando no se presta mucha atención a la tarea temporal el interruptor puede tardar en cerrarse, lo que provocaría que menos pulsos se acumulen, incrementando la magnitud de las reproducciones temporales. Además, otra posible característica del funcionamiento del interruptor es que, de acuerdo al nivel atento que se enfoque en la tarea, éste se puede abrir o cerrar mientras se lleva una estimación temporal, lo cual provocaría que cuando se lleva a cabo una tarea simultánea, el interruptor no se cierre impidiendo el paso y por lo tanto, la acumulación de pulsos. Esta crítica provocó un debate entre los autores (Lejeune, 2000; Zakay, 2000), sin llegar a nada concluyente, ya que ambas propuestas predicen prácticamente los mismos resultados.

Otra propuesta similar que tomó en cuenta el nivel atento indica que cuando se enfoca toda la atención a la tarea temporal los pulsos pasan sin dificultad al acumulador, pero si la atención se divide para procesar al mismo tiempo información no temporal, entonces dos cosas pueden suceder: o se pierden algunos de los pulsos emitidos por el marcapasos o los pulsos pasan lentamente (Burle & Cansini, 2001). Esto también predice que se subestime la duración de una tarea cuyo objetivo principal no es estimar el tiempo (Chaston & Kingstone, 2004; Kladooulus, Hemmes & Brown, 2004). Este modelo también añade la noción del nivel de activación, indicando que a mayor activación los niveles atentos aumentan, por lo tanto cuando se dirige más atención a los estímulos que marcan la duración, más pulsos se liberan y por lo tanto se acumulan, incrementando la magnitud de la estimación del tiempo.

Una segunda propuesta indicó que el contexto sirve como pista para la estimación temporal de un evento (Block, 1982; 2003). El contexto se definió muy ampliamente, ya que podría estar formado por: estímulos ambientales, que podrían ser tanto la persona que da las instrucciones del experimento como el lugar donde se lleva a cabo; el paradigma utilizado (prospectivo o retrospectivo); o las características físicas de los estímulos. Brown (1995) mostró que una característica que altera la duración percibida de un estímulo es su velocidad, ya que

cuando los estímulos dentro de una pantalla se movían a una velocidad mayor, mayor era su duración percibida. Con estos estudios se retomó la hipótesis propuesta por Goldstone y sus colaboradores (Goldstone, Lhamon & Sechzer, 1978; Lhamon & Goldstone, 1975) que indicaba que los cambios en la estimulación modifican la percepción de una duración, aunque sin dar una explicación más detallada sobre el fenómeno.

Otro factor que tiene un efecto sobre la velocidad del reloj interno, es la modalidad de los estímulos. Se ha reportado una mejor discriminación de duraciones para los estímulos auditivos sobre los visuales (Grondin, Meilleur, Ouellette & Macar, 1998; Droit-Volet, Turrett, & Wearden, 2004), así como que los estímulos auditivos se juzgan como más largos que los visuales (Wearden et al, 1998). Por ello, se ha propuesto una velocidad del reloj menor para la modalidad visual, sin descartar la posibilidad de la existencia de un reloj específico para cada modalidad (Grondin, 2003). Sin embargo, el que el reloj corra a diferentes velocidades no es suficiente para observar un efecto de modalidad, ya que aunque el reloj corra a una u otra velocidad, si se realiza la estimación temporal con una sola modalidad se estaría comparando los valores de las duraciones con una misma escala temporal. Por ello es necesario presentar ambas modalidades en una misma tarea de estimación temporal, i.e., comparar la duración de un estímulo auditivo contra la de un estímulo visual. Esto se ha explicado en base a que cuando se presentan las dos modalidades al mismo tiempo, las representaciones para cada duración obtenida con cada modalidad (i.e., las transformaciones del número de pulsos liberados en cada modalidad) se mezclan en memoria (Penney, et al, 1998; Penney, Gibbon & Meck, 2000). En consecuencia, cuando se realiza la estimación de la duración de un estímulo, se compara el número de pulsos obtenidos contra esta distribución mezclada, dando como consecuencia sesgos en la estimación de la duración dependientes de la modalidad. Sin embargo, para obtener dicho efecto, no sólo es suficiente que los participantes estimen duraciones presentadas por estímulos en ambas modalidades dentro de una misma sesión, sino es necesario utilizar como base para estimar duraciones una modalidad y hacer la comparación con otra modalidad, o en todo caso usar como base de comparación duraciones presentadas en ambas modalidades (Klapproth, 2003; Wearden, Todd, & Jones, 2006).

Finalmente, existen otros efectos relacionados con memoria donde se observan desplazamientos en las funciones psicofísicas sin representar cambios en la velocidad del reloj interno. Al alterarse los valores almacenados en memoria por medio de drogas o lesiones (Meck, 1983; Meck et al, 1984; Meck & Church, 1987b), se observan los mismos desplazamientos de las funciones psicofísicas que al cambiar la velocidad del reloj interno. El cambio en la localización de la función cuando se altera el componente de memoria es relativamente permanente, ya que aunque la representación en memoria de las duraciones es definitiva para estimaciones posteriores, ésta se va actualizando con cada duración reforzada, por lo que con un entrenamiento continuo bajo la influencia de una droga, los desplazamientos tienden a desaparecer. En cambio, la velocidad del reloj se puede modificar en cada estimación temporal, lo que da como resultado que las funciones psicofísicas se desplacen inmediatamente. Otros efectos en memoria que resultan en desplazamientos de las funciones son el acortamiento subjetivo y el efecto de migración, los cuales se describieron en el capítulo anterior.

En resumen, los cambios en la velocidad del reloj interno propuesto por la TEE es un fenómeno que todavía tiene que ser investigado fisiológicamente, y determinando las características de la estimación que los provocan. El presente trabajo se enfoca en este último punto, por lo que a través de los tres primeros experimentos busca evaluar la hipótesis del nivel de activación del reloj interno, contrastándolo con las predicciones propuestas por un reloj interno basado en osciladores (modelo de Treisman). Cada experimento fue diseñado para responder una pregunta específica sobre las características de la estimulación visual rápida que alteran la velocidad del reloj interno. El cuarto experimento evalúa si los efectos de modalidad y de las secuencias de estimulación rápida se suman o interactúan. Cada experimento se presenta de la siguiente manera: se hace una breve descripción de los hallazgos empíricos previos, relevantes a dicho experimento y se exponen los posibles resultados de acuerdo a las hipótesis propuestas; se presenta el diseño, el método y los resultados, y finalmente se realiza una breve descripción de las implicaciones de los mismos. En la discusión se realiza una discusión integral tanto de los hallazgos encontrados, así como de diferentes aproximaciones que podrían explicarlos.

### Experimento 1. Mantenimiento del incremento del nivel de activación

Treisman y colaboradores (Treisman et al, 1990) propusieron que cada estímulo que forma parte de la secuencia de estimulación rápida aumenta únicamente por un breve momento la activación del oscilador temporal de su modelo, i.e. cada estímulo acelera un sólo ciclo del oscilador temporal. Por lo que para estos autores es necesario presentar la estimulación rápida de manera simultánea con la estimación temporal para obtener algún efecto; mientras que las estimulaciones previas no deberían tener efecto alguno, ya que éstas no actúan sobre ningún ciclo del oscilador. Por otro lado, se ha reportado que presentar una estimulación rápida auditiva previa al estímulo que marca la duración a estimar, tiene un efecto sobre las estimaciones temporales, por lo que se ha sugerido que es posible activar al reloj interno antes de que este corra (Penton-Voak et al, 1996).

En una investigación previa (Ortega & López, 2008) se encontró que al estimar la duración de estímulos parpadeantes, se encuentran sesgos en la estimación concordantes con un incremento de la velocidad del reloj interno. Sin embargo, para diferenciar el efecto sobre el nivel de activación del reloj interno del efecto en el ciclo del oscilador propuesto por Treisman se consideró que sería necesario investigar si estimulaciones rápidas presentes únicamente durante un segmento de la estimación temporal tendría efecto sobre ésta última. Si se confirma esta hipótesis se sugeriría que una vez que el nivel de activación del reloj se modifica, éste nivel se mantiene hasta que la estimación temporal finalice. Específicamente:

- 1) Si el parpadeo genera un incremento en el nivel de activación general del reloj interno, entonces las estimaciones temporales no dependerán de la duración del parpadeo. En este caso se esperaría el mismo desplazamiento hacia la derecha al presentar diferentes porcentajes de parpadeo en la etapa de entrenamiento de una tarea de generalización temporal; y en los grupos en los que el parpadeo se presenta en la etapa de prueba, se esperarían los mismos desplazamiento hacia la izquierda al presentar diferentes porcentajes de parpadeo.
- 2) Si el parpadeo activa momentáneamente al reloj interno incrementando la liberación de pulsos únicamente mientras está presente, entonces la magnitud de los desplazamientos

dependerá de la duración de la presencia del parpadeo, por lo que la magnitud de los desplazamientos disminuirá conforme el porcentaje de presentación del parpadeo dentro del estímulo disminuye.

## Método

Participantes: 48 estudiantes de la Facultad de Psicología de la UNAM, (44 mujeres y 4 hombres, edad promedio = 18.91 años, D. E. =1.14). Los estudiantes participaron a cambio de crédito para una materia.

Materiales: El experimento fue programado en el programa SuperLab 2.0 Cedrus Corporation. Los estímulos constantes fueron círculos azules de 4.5cm de diámetro, presentados al centro de la pantalla durante el tiempo objetivo. Los círculos parpadeantes se formaron por una alternancia entre la aparición de un círculo con las mismas características durante 10 ms seguido por una pantalla blanca con la misma duración. Esta secuencia se presentó hasta que se completó el tiempo de aparición de parpadeo.

Rangos de Duraciones:

- a) 200, 300, 400, **500**, 600, 700 y 800 ms.
- b) 400, 600, 800, **1000**, 1200, 1400 y 1600 ms.

*Las duraciones en negrita indican la duración estándar de cada rango.*

Procedimiento: Los sujetos se dividieron aleatoriamente en cuatro grupos. A dos grupos se les presentaron estímulos parpadeantes únicamente en la etapa de entrenamiento; a uno de los cuales se le presentaron estímulos con duraciones dentro del rango de 200/800 ms, mientras que al otro duraciones dentro del rango de 400/1600 ms. A otros dos grupos adicionales, se les presentó el parpadeo únicamente en la etapa de prueba, divididos también por los dos rangos de duraciones presentadas.

Las condiciones de parpadeo fueron las siguientes. A cada uno de los 4 grupos se presentaron cuatro condiciones de parpadeo (Ver Tabla1).

<b>Grupo</b>	<b>Duración Estándar (ms)</b>	<b>Etapa Parpadeo</b>	<b>Porcentaje Parpadeo</b>
P-NP 500	500	Entrenamiento	10%
		Entrenamiento	50%
		Entrenamiento	100%
		No Parpadeo	0%
NP-P 500	500	Prueba	10%
		Prueba	50%
		Prueba	100%
		No Parpadeo	0%
P-NP 1000	1000	Entrenamiento	10%
		Entrenamiento	50%
		Entrenamiento	100%
		No Parpadeo	0%
NP-P 1000	1000	Prueba	10%
		Prueba	50%
		Prueba	100%
		No Parpadeo	0%

**Tabla 1.** Diseño del experimento Mantenimiento del incremento del nivel de activación

En la primera condición se presentó el parpadeo únicamente el primer 10% del total de la duración presentada. Por ejemplo, si el total de la duración era 1000 ms, se presentaba un círculo parpadeante durante los 100 ms y posteriormente se presentaba un círculo constante durante 900 ms. El círculo constante era presentado inmediatamente después del parpadeante, por lo que no se percibían como dos estímulos diferentes. En la segunda condición el parpadeo se presentó el primer 50% del total la duración, en la tercera se presentó un estímulo parpadeante durante toda la duración a estimar (100%) y en la cuarta condición se presentó un estímulo constante durante toda la duración a estimar. Cada condición se presentó durante 6 bloques. Dentro de cada grupo

se controló el orden de las presentaciones por medio de un diseño de cuadrados latinos, por lo que cada grupo se dividió en cuatro subgrupos de 3 sujetos, cada uno con orden de presentación de las condiciones diferente.

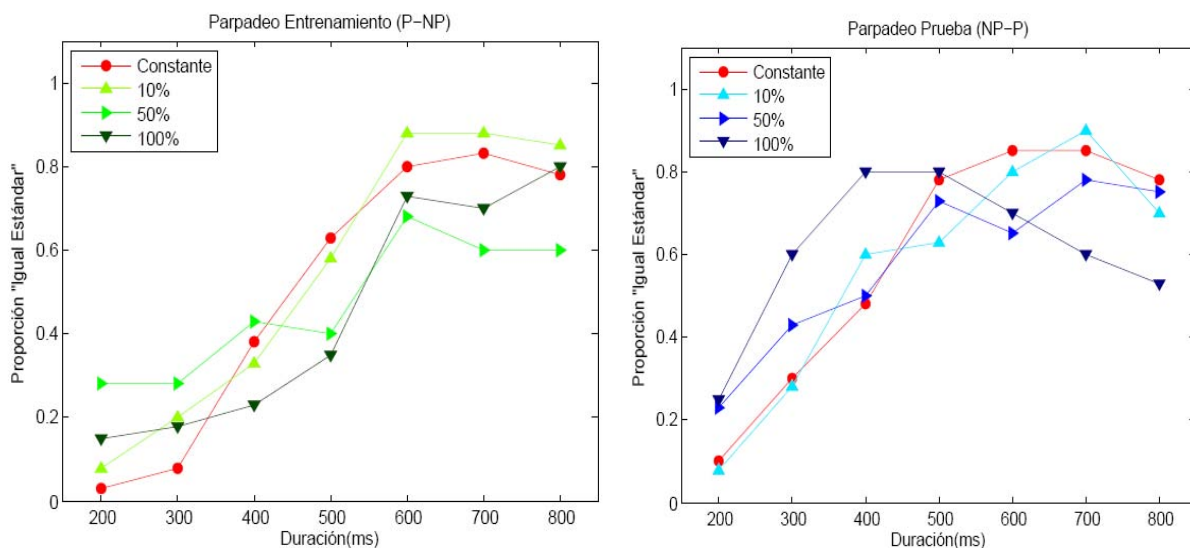
Se presentó la tarea de generalización temporal, dividida en 24 bloques. En cada bloque se presentó una etapa de entrenamiento seguida por una de prueba. En la primera se presentó una pantalla durante 3 segundos con un letrero que indicaba que la duración del siguiente era la estándar. Posteriormente se presentó una pantalla blanca durante 1s, y después aparecía el círculo que marcaba la duración estándar (el cual era precedido por el círculo gris en los grupos P-NP 500 y P-NP 1000). Esta secuencia se presentó 3 veces en cada entrenamiento. En la etapa de prueba de cada bloque se presentó cada una de las duraciones prueba, entremezcladas con la duración estándar. Las duraciones fueron presentadas de manera aleatoria. En los grupos NP-P 500 y NP-P 1000, el círculo azul era precedido por el círculo gris. 150 ms después de la presentación de una duración prueba se presentó una pantalla con la siguiente pregunta: “¿Fue la duración estándar?” y el sujeto respondía Si o No, apretando el botón 1 o 2 respectivamente. Un segundo después de la respuesta se presentó la siguiente duración hasta presentar las 7 duraciones.

#### Resultados:

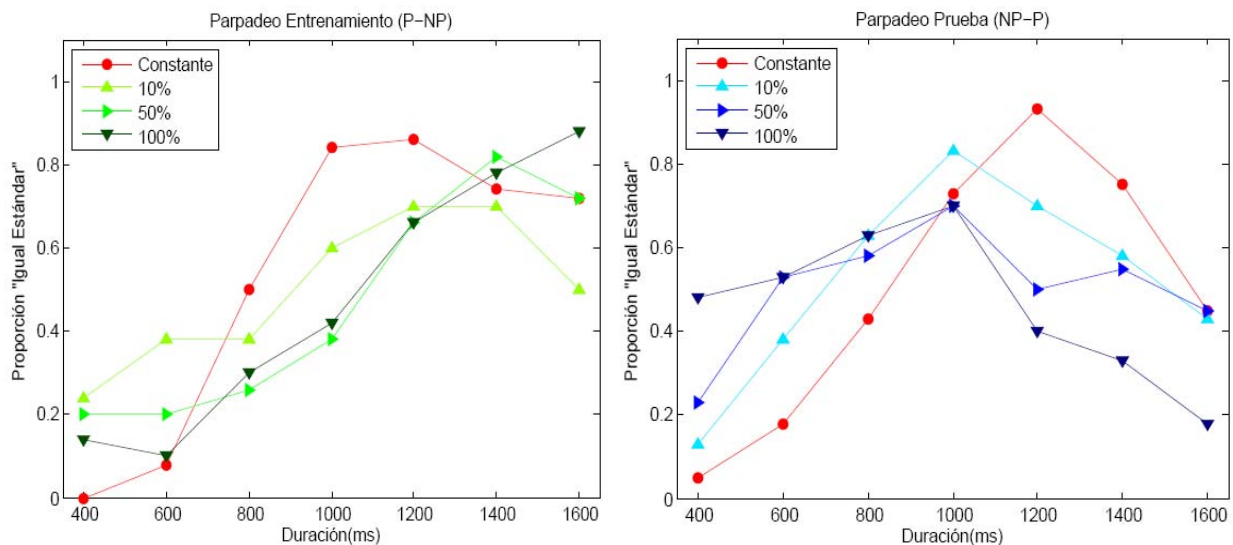
Para analizar los resultados se realizó un filtro de los mismos. Se eliminó el primer bloque para reducir posibles efectos de acarreo de una condición a otra. Posteriormente, se obtuvo la diferencia entre el valor de proporción mínimo y el valor de proporción máximo. Cuando esta diferencia era menor a 0.45, se eliminó al sujeto, ya que esto indica que no discriminó las duraciones. Una vez realizado este filtro, dentro del grupo P-NP 500 se eliminó a un total de 4 sujetos, quienes no discriminaron las duraciones, ni en la condición constante ni al presentar los parpadeos. En el grupo NP-P 500, se eliminó nuevamente un total de 4 sujetos, dos de los cuales únicamente en la condición constante mostraron un gradiente de generalización sesgado hacia las duraciones largas. Dentro los grupos P-NP 1000 y el grupo NP-P 1000, se eliminaron 2 y 4 sujetos respectivamente, los cuales mostraron nuevamente un gradiente de



generalización sesgado hacia las duraciones largas en la condición control, y el gradiente se perdió en alguna condición de parpadeo. Una vez eliminados estos sujetos y el primer bloque de cada condición, se promediaron los datos y se obtuvieron las Figuras 2 y 3:



**Figuras 2A y 2B.** Gradientes de generalización para los grupos en el rango 200/800 ms, para el grupo P-NP (derecha) y el grupo NP-P (izquierda), respectivamente.



**Figuras 3A y 3B.** Gradientes de generalización para los grupos en el rango 400/1600 ms, para el grupo P-NP (derecha) y el grupo NP-P (izquierda), respectivamente.

Como se observa en las Figuras 2 y 3, los gradientes de generalización que relacionan la proporción de respuestas a largo con la magnitud de las duraciones, no mostraron una distribución centrada alrededor del valor de la duración estándar. En general, la tendencia a crecer de los gradientes fue mayor a la del decaimiento y el pico se desplazó hacia valores mayores a la duración estándar. El obtener gradientes de generalización sesgados hacia las duraciones largas es un patrón común en las investigaciones que presentan esta tarea. Esto está contemplado dentro de las propuestas de la TEE, ya que la regla de decisión en una tarea de similitud se basa en la razón de la duración menor entre la duración mayor, por lo que una duración de 500 ms es más similar a una duración de 800 ms que a una de 200 ms, aunque la diferencia absoluta entre el estándar y ambas duraciones sea 300 ms. Así, al basarse la regla de similitud en razones en lugar de diferencias, se obtienen sesgos hacia las duraciones largas (Gallistel & Gibbon, 2000). Sin embargo, en investigaciones de estimación temporal con humanos este sesgo no es tan macado como en el presente experimento, esto pudo ser causado por la modalidad visual, ya que como se mencionó en esta modalidad las estimaciones son más variables, lo cual pudo haber creado más confusión entre las duraciones disminuyendo la discriminación entre las mismas.

Otro aspecto que se puede observar en las figuras es que la presencia del parpadeo tuvo un efecto la discriminación de las duraciones presentadas, ya que, en general, al observar las Figuras 2 y 3, se observa que las tendencias de los desplazamientos es en la dirección esperada: cuando se presentó el parpadeo en la etapa de entrenamiento (Figuras 2A y 3A), los gradientes tienden a desplazarse hacia la derecha; mientras que cuando se presentó el parpadeo en la etapa de prueba (Figura 2B y 3B), la tendencia al desplazamiento es a la izquierda.

El objetivo principal de este experimento fue estudiar si diferentes proporciones de segmentos de parpadeo dentro de un estímulo a estimar producía diferentes desplazamientos de los gradientes. En las Figuras 2A y 2B, se observa que en el rango 200/800 ms un parpadeo durante el 10% de la duración no tiene efecto, ya que los gradientes de esta condición y los de estímulos constantes se sobreponen. En cambio, en el rango 400/1600 ms (Figuras 3A y 3B) los gradientes de parpadeo 10% y aquellos de la condición constante no se sobreponen. Esto puede deberse a que en el primer caso el rango de duración de los parpadeos fue de 20 a 80 ms, lo que

pudo haber impedido su percepción. Otra posibilidad es que estas duraciones de parpadeo no son suficientes para incrementar el nivel de activación del reloj. Sin embargo, el presente diseño no permite discernir entre ambas opciones.

Por otro lado, en ambos rangos, los gradientes de las condiciones de parpadeo de 50% y 100% no se superponen a los gradientes de la condición control y se desplazan en la misma magnitud. Esto sugiere que el efecto del porcentaje de la presencia del parpadeo tuvo el mismo efecto sobre la estimación temporal en ambos porcentajes de parpadeo.

Cabe mencionar que debido a la falta de una regularidad en los datos que permitiera tener gradientes de generalización normales, no es posible realizar una aseveración firme sobre las implicaciones teóricas de los datos obtenidos en el presente experimento. Sin embargo, los resultados obtenidos en el Experimento 1 parecen sugerir que el efecto del parpadeo es incrementar el nivel de activación del reloj y que este nivel de activación permanece por lo menos hasta el término del ensayo de estimación temporal. Asimismo, la tendencia de los resultados descarta que cada elemento de la secuencia de estimación rápida aumente únicamente por un breve momento la activación del oscilador temporal, como Treisman y sus colaboradores propusieron.

## Experimento 2. Diferentes niveles de activación

Por un lado, se ha sugerido que la variable relevante para las sobreestimaciones temporales es el cambio del estímulo cuya duración se estimará (Lhamon & Goldstone, 1975). Siguiendo esta hipótesis, Brown (1995) reportó que estímulos en movimiento provocan este efecto y que la magnitud del efecto aumenta conforme incrementa la velocidad del movimiento de los estímulos. Por otro lado, Treisman et al (1990) indicaron que para activar a los osciladores es necesario presentar estímulos que provoquen un nivel “adecuado” de activación, ya que no todos los estímulos incrementan el nivel de activación de los osciladores, sino únicamente podrán tener un efecto aquellos estímulos con frecuencias cercanas a los ciclos de los osciladores o bien, aquellos estímulos con frecuencias que sean múltiplos de los mismos ciclos. Al ser algunos de los valores de las frecuencias de los osciladores 24.75 Hz, 37.3 Hz y 49.5 Hz, éstos investigadores propusieron los estímulos presentados a estas frecuencias (o sus múltiplos) tendrán el mayor efecto posible en los incrementos de las estimaciones temporales.

Estos argumentos abren la pregunta si es posible inducir diferentes velocidades del reloj interno (a mayor tasa de parpadeo mayor velocidad del reloj interno) o si el incremento de la velocidad es el mismo, independientemente de la tasa de estimulación. Al manipular la frecuencia de la tasa de parpadeo se puede evaluar si diferentes frecuencias de estimulación incrementan el nivel de activación del reloj interno con la misma intensidad, o si cada componente de la estimulación (parpadeo) tiene un efecto sobre cada pulso liberado por el marcapasos. Entonces:

- 1) Si el nivel de activación del reloj interno resulta de cualquier cambio en el estímulo, entonces se esperaría obtener el mismo desplazamiento de las funciones correspondientes a las diferentes condiciones de frecuencia de parpadeo.
- 2) Si en cambio, se inducen diferentes niveles de activación del reloj, entonces la magnitud del desplazamiento diferirá para diferentes frecuencias de parpadeo, aumentando la magnitud del desplazamiento conforme aumenta el valor de la frecuencia del parpadeo.

En este experimento, la presentación del parpadeo se modificó: se presentó un estímulo parpadeante antes del estímulo cuya duración se estimó, el cual fue un estímulo visual constante.

Ésta es la presentación común en las investigaciones que manipulan la velocidad del reloj interno a través de parpadeos. Se utilizó esta configuración de parpadeo debido a que conforme las frecuencias del parpadeo disminuían, el tiempo de presentación del círculo y la pantalla blanca aumentaba, por lo que si se clasificaba la duración del estímulo que parpadeaba, el número de círculos podría haber servido como señal para clasificar la duración de un estímulo como “Corto” o “Largo”, especialmente con la frecuencia de 7 Hz.

### Método

Participantes: 40 estudiantes de la Facultad de Psicología de la UNAM, (35 mujeres y 5 hombres, edad promedio = 18.37 años, D. E. =1.25), los cuales participaron a cambio de crédito para una materia.

Materiales: Los estímulos y la programación del experimento se llevaron a cabo en el programa E-Prime 2.0 Beta, Psychology Software Tools, Inc. Los estímulos a clasificar consistieron en círculos azules constantes con las mismas dimensiones que en el experimento anterior, y los círculos parpadeantes en esta ocasión estuvieron formados por secuencias entre un círculo gris y una pantalla blanca, con una duración total de 5 segundos. Para cada condición las duraciones del círculo gris y de la pantalla blanca difirieron para crear las diferentes frecuencias de parpadeo, (Ver Tabla 2).

Frecuencia (Hz)	Pantalla blanca (ms)	Círculo gris (ms)
0	0	5000
28	17	17
14	35	35
7	70	70

**Tabla 2.** Frecuencia de parpadeo y las correspondientes duraciones de la pantalla blanca y el círculo gris.

Rango de duraciones: **200(C)**, 300, 400, 500, 600, 700 y **800(L)** ms.

*Los números en negritas indican las duraciones estándares.*

Procedimiento: Los sujetos se dividieron de manera aleatoria en dos grupos, al primero se le presentaron las cuatro condiciones de parpadeo únicamente en la etapa de Entrenamiento (P-NP) y al segundo, únicamente en la etapa de Prueba (NP-P). El orden de presentación de las 4 frecuencias de parpadeo, se contrabalanceó en cada grupo.

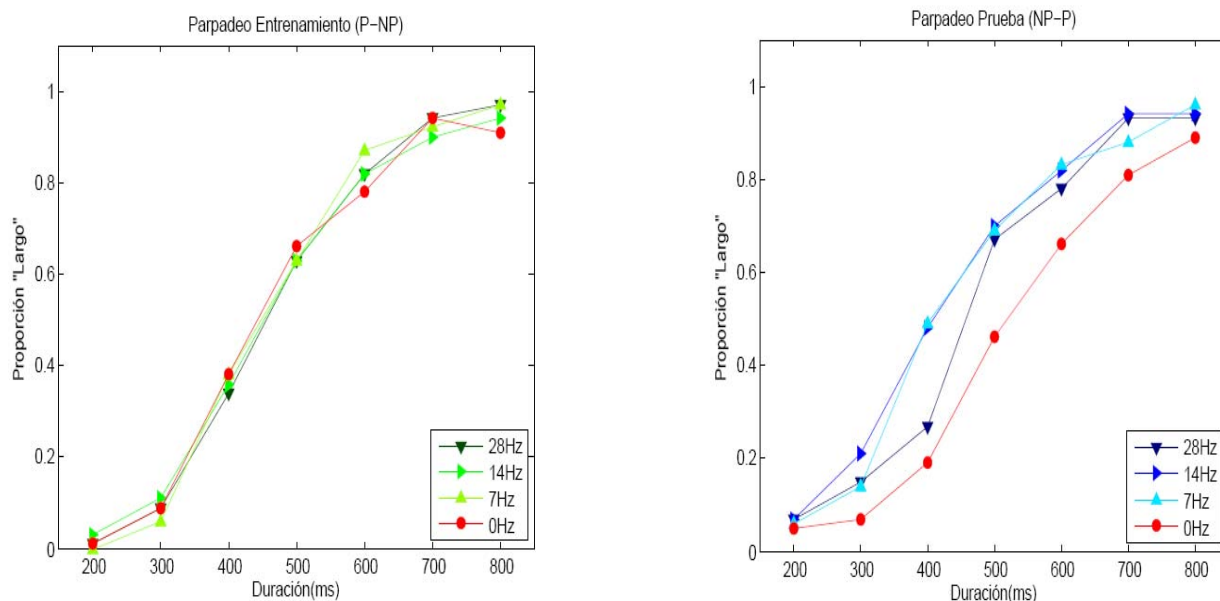
La presentación de los estímulos parpadeantes y del estímulo a clasificar fue la siguiente: el círculo gris (presentado a una de las 4 posibles frecuencias de parpadeo), se presentó durante 5 segundos, después una pantalla blanca durante 150 ms y finalmente aparecía el círculo constante azul, que marcaba una de las duraciones, dentro del rango de duraciones prueba.

Se presentó la tarea de bisección temporal, dividida en 20 bloques en total, cada uno formado por una etapa de entrenamiento y una de prueba. La etapa de entrenamiento consistió en la presentación de las duraciones estándares corta y larga. Se presentó durante 3 segundos una pantalla que indicaba si se trataba de una duración corta o larga (p. e., “La siguiente es una duración CORTA”). Después apareció una pantalla blanca durante 150 ms y finalmente el círculo que marcaba la duración indicada. Se presentó una secuencia CLCLCL en cada entrenamiento. En la etapa de prueba, al igual que en el experimento anterior, se presentó de manera aleatoria las duraciones prueba entremezcladas con las estándares de la siguiente manera: 150 ms después de la presentación de una duración prueba se presentó una pantalla con la siguiente pregunta: “¿Fue el círculo azul la duración Corta o Larga?” y el sujeto respondía, apretando el botón 1 o 2 respectivamente. Un segundo después de la respuesta se presentó la siguiente duración a clasificar hasta presentar las 7 duraciones.

#### Resultados:

Como se muestra en las figuras 4A y 4B, en todos los grupos se obtuvieron las funciones psicofísicas usuales, donde la proporción de respuestas a largo incrementa conforme la duración incrementa. En cuanto a las condiciones de parpadeo se observa que en el grupo NP-P (Fig. 4B) las tres funciones de las condiciones de parpadeo se desplazan hacia la izquierda en comparación a la función de la condición 0 Hz, mientras que en el grupo P-NP (Fig. 4A) las funciones de las

condiciones de parpadeo se desplazan hacia la derecha de la función de la condición 0 Hz, aunque este desplazamiento es mínimo.



**Figuras 4A y 4B.** Funciones psicofísicas para el grupo P-NP (derecha) y el grupo NP-P (izquierda), respectivamente.

Para evaluar si los desplazamientos observados son significativos, se obtuvieron los puntos de bisección para cada sujeto y posteriormente se promediaron para obtener el punto de bisección grupal. Como se mencionó anteriormente, el punto de bisección es aquella duración a la que los sujetos son indiferentes, y por lo tanto la clasifican como “largo” y “corto” el 50% de las ocasiones en que se les presenta. Un procedimiento psicofísico denominado Método de Mínimos Cuadrados (Gescheider, 1997), consiste en obtener una línea recta a partir de tres duraciones consecutivas con mayor pendiente. Posteriormente con dicha pendiente y el intercepto correspondiente se calcula el punto de bisección. Al aplicar este método se obtuvieron los puntos de bisección que se presentan en la Tabla 3.

	0 Hz	29 Hz	14 Hz	7 Hz
P-NP	448	465	483	465
NP-P	529	476	439	443

**Tabla 3.** Puntos de bisección en ms para cada condición de frecuencia de parpadeo.

Con los valores del punto de bisección de cada participante se ejecutó un ANOVA con la etapa de presentación del parpadeo como factor entre grupo, la frecuencia de parpadeo como factor intragrupo y el orden de presentación como covariado. No se encontraron efectos de etapa de presentación del parpadeo ( $F(1,37) = 0.130$ ,  $p > 0.05$ ), de frecuencia ( $F(3,111) = 0.781$ ,  $p > 0.05$ ), de orden ( $F(1,37) = 0.497$ ,  $p > 0.05$ ), ni una interacción entre el orden y la frecuencia ( $F(3,111) = 1.066$ ,  $p > 0.05$ ). Sin embargo, se obtuvo un efecto significativo para la interacción entre frecuencia y la etapa en que se presentó del parpadeo ( $F(3,111) = 5.696$ ,  $p < 0.05$ ), lo que indica que el efecto del parpadeo depende de la etapa de la tarea en que se presenta. Cuando se presenta el parpadeo en la etapa de entrenamiento de la tarea (grupo P-NP), los valores del punto de bisección incrementan, mientras que cuando se presenta en la etapa de prueba (grupo NP-P), los valores del punto de bisección disminuyen. Para evaluar en que condición (o condiciones) de parpadeo es significativo el cambio del punto de bisección se llevaron a cabo las siguientes comparaciones específicas. Primero se evaluó la diferencia de los valores del punto de bisección entre el grupo 0 Hz y las tres frecuencias de parpadeo (28 Hz, 14 Hz & 7 Hz), encontrando una diferencia significativa ( $F(1,37) = 16.239$ ;  $p < 0.05$ ). Posteriormente se compararon las condiciones de frecuencias de parpadeo (28 Hz vs. (14 Hz y 7 Hz); y 14 Hz vs. 7 Hz), donde no se encontró ninguna diferencia significativa ( $F(1,37) = 1.599$ ;  $p < 0.05$ ) y ( $F(1,37) = 0.729$ ;  $p < 0.05$ ) respectivamente).



	0 Hz		29 Hz		14 Hz		7 Hz	
	UD	FW	UD	FW	UD	FW	UD	FW
P-NP	43.71	0.10	48.15	0.11	47.72	0.10	44.73	0.10
NP-P	57.94	0.11	50.26	0.11	47.64	0.12	51.90	0.12

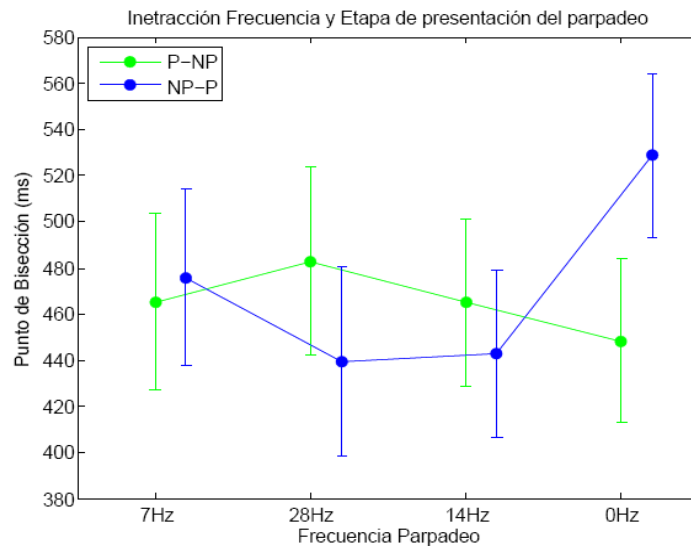
**Tabla 4.** Umbrales diferenciales y fracciones de Weber para cada condición de frecuencia de parpadeo.

Posteriormente, se obtuvieron los valores del umbral diferencial y de la fracción de Weber. Ambos se obtuvieron con el Método de Mínimos Cuadrados y al igual que con el punto de bisección, primero se obtuvieron los valores individuales para cada condición y posteriormente se promediaron para obtener los valores grupales. El umbral diferencial se obtuvo dividiendo a la mitad la diferencia de la duración a la que se responde como largo el 75% de las ocasiones presentadas, menos la duración que se clasificó como largo el 25% de las ocasiones. La fracción de Weber se obtuvo dividiendo el umbral diferencial entre el punto de bisección.

Una vez obtenidos los valores para el umbral diferencial y para la fracción de Weber, se llevaron a cabo dos ANOVAS por separado, con los mismos factores que en el análisis anterior. En cuanto al umbral diferencial únicamente se obtuvo un efecto significativo de etapa de la tarea en la que se presentó el parpadeo ( $F(1,37) = 4.466, p < 0.05$ ). Mientras que para la fracción de Weber no se encontró ninguna diferencia significativa.

En general los resultados obtenidos sugieren que la presencia del parpadeo provocó desplazamientos de las funciones psicofísicas de acuerdo con la hipótesis del reloj interno y que los diferentes valores de las frecuencias del parpadeo no tuvieron efecto específico, i. e., con las tres frecuencias se obtuvo la misma magnitud de desplazamiento. Esto indica que el reloj interno propuesto por la TEE se activa de la misma manera con estimulaciones visuales rápidas, sin importar la frecuencia a la que se presente dichas estimulaciones. Asimismo descartan la propuesta de Treisman y sus colaboradores, ya que no se encontró un efecto mayor con el parpadeo a una frecuencia de 28 Hz, que sería el valor de frecuencia presentado en el presente experimento, más cercano a uno de valores de los ciclos de los osciladores (i.e., 24.75 Hz) propuesto (Treisman et al, 1990).

Al presentar el parpadeo en la etapa de entrenamiento, se obtuvieron desplazamientos de la función psicofísica a la derecha, mientras que al presentar el parpadeo en la etapa de prueba, se desplazaron hacia la izquierda. Aunque gráficamente no se observan claramente los desplazamientos, el análisis estadístico confirmó este desplazamiento. Cabe resaltar que el cambio en el valor del punto de bisección al presentar el parpadeo en la etapa de entrenamiento (grupo P-NP) es mucho menor que cuando se presenta en la etapa de prueba (NP-P), como se observa en la Figura 5.



**Figura 5.** Interacción en los puntos de bisección entre la etapa de presentación de parpadeo y su frecuencia.

Finalmente, el efecto significativo en el umbral diferencial dependiente de la etapa de la tarea indica que la sensibilidad temporal absoluta cambió cuando se presentó un estímulo anterior al estímulo cuya duración se juzgaría en una u otra etapa. Esto también se observa al evaluar los puntos de bisección, ya que al presentar un círculo gris por 5s antes del círculo azul pareció alterar la duración estimada de éste último, ya que se encontró que el punto de bisección para la etapa de entrenamiento en la condición de 0 Hz se encuentra muy por debajo del punto de bisección obtenido para la misma condición en la etapa de prueba. Este cambio no se explica por un efecto de asimilación, ya que en este caso, el valor del punto de bisección al presentar el

parpadeo en la etapa de entrenamiento hubiera sido mayor que al presentar el parpadeo en la etapa de prueba. Lo que parece haber ocurrido es que al presentar un estímulo largo (5 s) y después el estímulo prueba que era de una duración mucho menor, provocó que éste último se percibiera como más corto que cuando no se presentó un estímulo previo, i.e., cuando no se presentó un parpadeo o círculo constante. A pesar de este cambio en la percepción temporal, ni el parpadeo ni la presencia de un estímulo anterior tuvieron un efecto en la estimación temporal relativa.

### Experimento 3. Regularidad del parpadeo

Treisman et al (1990), indican que es necesario presentar la estimulación rápida a una tasa constante para observar un efecto sobre el cómputo total del oscilador temporal. Si se presentara una tasa irregular, en algunas ocasiones dos componentes de la estimulación (p. e., dos parpadeos) se presentarán muy cercanos entre sí. En este caso se perdería el efecto de activación del segundo estímulo, ya que el efecto que éste podría tener, sería sobre el mismo ciclo que el estímulo anterior ya activó. De la misma forma, en algunos ciclos del oscilador podría no aparecer ningún parpadeo que acelere dicho ciclo. Por lo tanto, con una estimulación con una tasa irregular se perdería el efecto sobre algunos ciclos del oscilador y se obtendrían menos sesgos en la estimación temporal que cuando se presente una tasa regular.

Asimismo, las manipulaciones que se aplican para activar al reloj interno de la TEE, se basan en secuencias de estímulos periódicos. Finalmente, se ha observado que estímulos en movimiento a una velocidad constante provocan sobreestimaciones temporales (Brown, 1995). Todas estas manipulaciones son temporalmente constantes, por lo que queda por investigar si cambios irregulares en la estimulación también incrementan la velocidad del reloj interno.

- 1) Si el nivel de activación del reloj interno depende únicamente de cambios en la estimulación, entonces al presentar un parpadeo regular y un parpadeo irregular se presentarán los mismos desplazamientos de las funciones psicofísicas, por lo que éstas se sobrepondrán.
- 2) Si cada estímulo del parpadeo aumenta la liberación de un pulso por parte del generador, entonces se encontrará un menor desplazamiento en los grupos de parpadeo irregular, ya que se perderá el efecto de algunos estímulos sobre la liberación de pulsos por parte del generador.

Además se evaluará el efecto de presentar un parpadeo tanto en la etapa de entrenamiento como en una etapa de prueba. En este caso se espera que al presentar el parpadeo regular en ambas etapas de la tarea, las funciones no se desplacen, ya que aunque los valores representativos del número de pulsos acumulados en memoria de Referencia y en memoria de

Trabajo aumentarán, la comparación entre dichas memorias se haría bajo la misma escala, y no debería encontrarse un efecto sobre la localización de las funciones.

Nuevamente para evitar que el número de parpadeos sirva como herramienta para juzgar la duración de un estímulo, se presentó el estímulo parpadeante previo al estímulo constante cuya duración se clasificó.

## Método

Participantes: 30 estudiantes de la Facultad de Psicología de la UNAM, (24 mujeres y 6 hombres, edad promedio = 19.29 años, D.E. =1.38), los cuales participaron a cambio de crédito para una materia.

Materiales: Los estímulos y la programación del experimento se llevaron a cabo en el programa E-Prime 2.0 Beta, Psychology Software Tools, Inc. Los estímulos a clasificar nuevamente fueron círculos constantes azules con las mismas características del experimento anterior. Los estímulos parpadeantes regulares fueron nuevamente una secuencia de círculos grises y de una pantalla blanca, presentados a una frecuencia de 14 Hz. Los estímulos parpadeantes irregulares se formaron también por alternancias entre un círculo gris y una pantalla blanca; sin embargo, las duraciones del círculo y de la pantalla blanca variaron de manera aleatoria para crear el efecto de parpadeo irregular, manteniendo una frecuencia promedio de 14 Hz. Para controlar las presentaciones irregulares de las alternaciones entre el círculo gris y la pantalla blanca, en el programa Microsoft Excel 2003, se generaron listas de números aleatorios de una distribución normal con una media de 35 y desviación estándar de 11, controlando que el valor mínimo fuera 17 y el máximo 53. Los valores obtenidos en dichas listas se utilizaron en la programación de las duraciones en ms de cada pantalla en la condición de parpadeo irregular.

El rango de duraciones fue nuevamente de 200 a 800 ms, con duraciones espaciadas linealmente de 100 en 100 ms.

Procedimiento: Los participantes fueron designados de manera aleatoria a uno de los siguientes grupos. Al primer grupo se le presentó el parpadeo regular únicamente en la etapa de prueba. Al segundo se le presentó un parpadeo irregular en la etapa de prueba, y finalmente a un tercer grupo se le presentó el parpadeo regular en ambas etapas de la tarea (Ver Tabla 5).

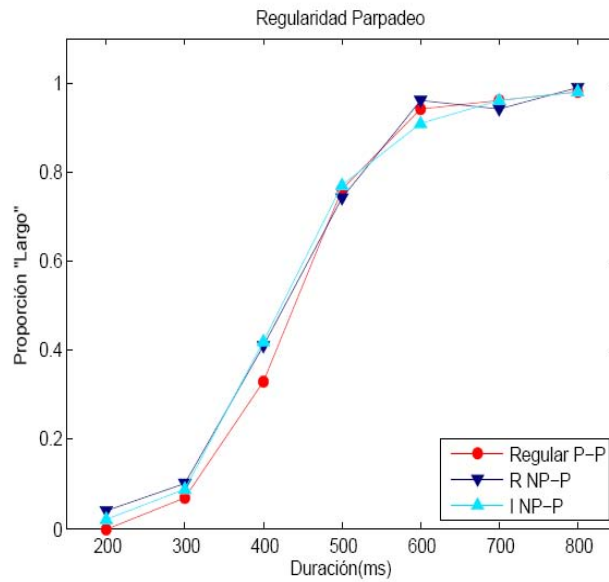
Nuevamente se presentó la tarea de bisección, dividida en nueve bloques, cada uno de los cuales se formó por secuencias de una etapa de entrenamiento seguido por una de prueba, con las mismas características de programación que en el experimento anterior. Asimismo, el parpadeo se presentó previo al estímulo constante que marcó la duración a estimar, con la misma secuencia del experimento anterior.

<b>Grupo</b>	<b>Parpadeo</b>	<b>Etapa Parpadeo</b>
R NP-P	Regular	Prueba
Ir NP-P	Irregular	Prueba
R P-P	Regular	Entrenamiento y Prueba

**Tabla 5.** Grupos para el experimento regularidad del parpadeo.

Resultados:

La Figura 6 muestra las funciones psicofísicas obtenidas al manipular la regularidad del parpadeo. Como se observa, la proporción de respuestas a largo en los tres grupos incrementa conforme incrementa la duración. Así mismo, se observa que las tres funciones se sobreponen, aunque la función para la condición R P-P tiende a localizarse a la derecha de las otras funciones. Para evaluar estadísticamente la localización de las funciones se obtuvo el punto de bisección, nuevamente con el método de Mínimos Cuadrados. También se obtuvieron el umbral diferencial y la fracción de Weber, como se muestra en la Tabla 6.



**Figura 6.** Funciones psicofísicas del experimento regularidad de parpadeo.

	<b>Punto de Bisección</b>	<b>Umbral Diferencial</b>	<b>Fracción de Weber</b>
R NP-P	423	52	0.13
Ir NP-P	430	47	0.11
R P-P	441	47	0.11

**Tabla 6.** Puntos de bisección (en ms), umbrales diferenciales y Fracciones de Weber obtenidos en el experimento regularidad de parpadeo.

Con los valores obtenidos se ejecutaron tres ANOVAs por separado para evaluar el efecto de la irregularidad del parpadeo sobre el punto de bisección, el umbral diferencial y la fracción de Weber. No se encontró ninguna diferencia significativa en las tres medidas antes mencionadas, por lo que las funciones para los tres grupos son idénticas ( $F(2,27) = 0.494, p > 0.05$ );  $F(2,27) = 0.259, p > 0.05$ ;  $F(2,27) = 0.731, p > 0.05$ , para el punto de bisección, el umbral diferencial y la fracción de Weber, respectivamente).

Los resultados obtenidos indican que no hay diferencia entre presentar un parpadeo regular y uno irregular. Este resultado, junto con el resultado del experimento anterior, donde se observó que no hay diferencia entre presentar diferentes frecuencias de estimulaciones rápidas visuales, sugiere que las características intrínsecas a la estimulación rápida no son variables relevantes para el incremento en la velocidad del reloj interno.

Sin embargo, el que las funciones de los grupos R NP- P y Ir NP-P sean idénticas a la función del grupo R P-P indica que el presentar un parpadeo en la etapa de prueba tiene el mismo efecto que presentar el parpadeo en ambas etapas de la tarea. Este resultado es consistente con los resultados del experimento anterior, donde se observó que el efecto de parpadeo es mucho menor cuando se presenta en la etapa de entrenamiento de la tarea (desplazamiento hacia la derecha mínimo), que cuando se presenta en la etapa de prueba (desplazamiento hacia la izquierda mayor). Así, si se presenta un parpadeo en ambas etapas de la tarea, al ser la magnitud del desplazamiento hacia la izquierda mayor a la magnitud del desplazamiento a la derecha, este último se pierde por el efecto del parpadeo en prueba, lo que sugiere que el cambio en la velocidad del reloj depende de la memoria en que se almacene el número de pulsos acumulado.



#### Experimento 4. Modalidad de las secuencias de estimulación.

Un efecto relacionado con la velocidad del reloj interno es el efecto de modalidad: los estímulos auditivos se juzgan como más largos que los estímulos visuales; se ha argumentado que con esta última modalidad el reloj corre a una velocidad menor (Wearden et al, 1998). Asimismo, se ha observado que al acompañar o preceder estímulos visuales con parpadeos auditivos se obtiene un incremento en la velocidad del reloj interno (Treisman et al, 1990; Penton-Voak, et al, 1996). Sin embargo, hasta el momento no se ha estudiado si los efectos de modalidad y del incremento en la velocidad del reloj pueden ser combinados, es decir, si el incremento en la velocidad del reloj interno es mayor si se presentan secuencias de estimulación en la modalidad auditiva que cuando se presentan en la modalidad visual.

- 1) Si el factor importante es el cambio en la estimulación, sin importar su modalidad, entonces se obtendrá el mismo desplazamiento de sus funciones psicofísicas hacia la izquierda al presentar alguna estimulación rápida (ya sea click o parpadeo).
- 2) Si la modalidad en la que se presenta la secuencia de estimulación rápida tiene un efecto en la velocidad del reloj de la misma forma que cuando se presentan estímulos constantes en cada modalidad, entonces se esperaría que en las condiciones en las que se presenta el parpadeo visual, las funciones se desplacen hacia la izquierda pero en menor magnitud que las funciones para la estimulación auditiva rápida.

Además al presentar tanto estímulos visuales como estímulos auditivos, se esperaría replicar el efecto de modalidad, i.e., que las funciones psicofísicas para los estímulos auditivos se localicen a la izquierda de las funciones para los estímulos visuales.

#### Método

Participantes: 16 estudiantes y 8 miembros del laboratorio “Timing Lab” del departamento de Psicología de la Universidad de Brown. (16 mujeres y 8 hombres, edad promedio = 22.42 años, D. E. =3.79). Los estudiantes participaron a cambio de crédito para una materia.

Materiales: Los estímulos y la programación del experimento se llevaron a cabo en el programa Psychophysics Toolbox Version 3 (Brainard, 1997; Pelli, 1997) para MatLab Version R2007b. Los estímulos se dividieron en cuatro, de acuerdo a su modalidad y su frecuencia. Los estímulos visuales constantes (V) fueron círculos grises con las mismas características que en los experimentos anteriores. Los estímulos auditivos constantes (A) fueron tonos de 500 Hz. Las secuencias de estímulos rápidas visuales fueron círculos grises con frecuencia de parpadeo de 10 Hz (P). Las secuencias rápidas de estímulos auditivos fueron secuencias de la presentación de clicks (C) de 500 Hz durante 50 ms, seguidos por silencio durante 50 ms.

El rango de duración a presentar fue nuevamente de 200 a 800 ms, con duraciones espaciadas linealmente de 100 en 100.

Procedimiento: Los sujetos se dividieron de manera aleatoria en dos grupos, que difirieron en la modalidad en que se presentaron los estímulos en el entrenamiento, como se indicará más adelante.

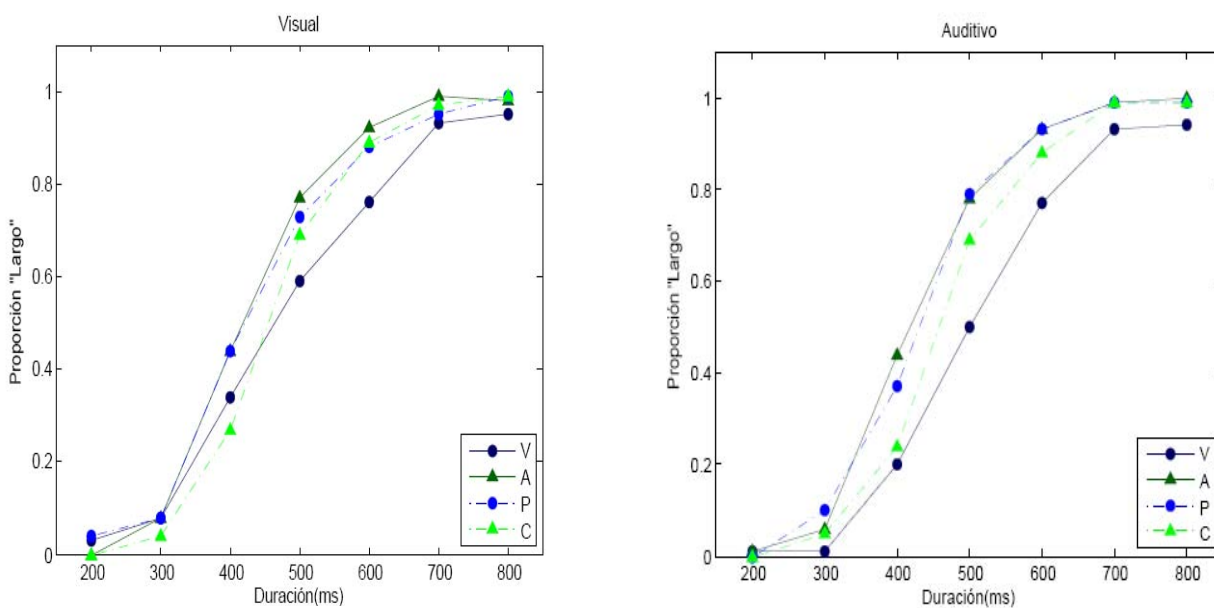
Se presentó la tarea de bisección, con 36 bloques en total, cada uno dividido en entrenamiento y prueba. El entrenamiento, nuevamente consistió en tres presentaciones alternadas de cada estímulo estándar, sin embargo, después de cada duración presentada se requirió de una respuesta por parte del participante. Cuando se presentó la duración C, se requería que el sujeto presionara la tecla “S”, mientras que cuando se presentaba la duración L, presionaba la tecla “L”. Cada bloque de prueba consistió de siete ensayos, donde aparecieron de manera aleatoria las cinco duraciones intermedias junto con las dos duraciones estándares, con las mismas características que en los experimentos anteriores, aunque en este caso, las respuestas requeridas eran apretar la tecla “S” para las clasificaciones cortas y la “L” para las largas.

En todas las etapas de entrenamiento de cada uno de los 36 bloques del experimento, se presentó el mismo tipo de estímulo. A un grupo se le presentó únicamente estímulos visuales constantes (Grupo Visual) y al segundo grupo se le presentó únicamente estímulos auditivos constantes (Grupo Auditivo). En cambio, el tipo de estímulo en la fase de prueba se mantuvo constante únicamente durante nueve bloques consecutivos, i. e., se presentaron 9 bloques consecutivos en los que los sujetos clasificaron las duraciones de estímulos visuales constantes; 9

bloques en los que clasificaron tonos constantes; 9 bloques en los que clasificaron estímulos parpadeantes y 9 bloques consecutivos en los que clasificaron las duraciones de secuencias de clicks. Para reducir posibles efectos de acarreo de un tipo de estímulo a clasificar a otro tipo de estímulo, se contrabalanceó el orden de la presentación de los 9 bloques consecutivos de cada tipo de estímulo.

#### Resultados:

Las Figuras 7A y 7B muestran las funciones psicofísicas para los grupos Visual y Auditivo respectivamente. Nuevamente se observa que la proporción de respuestas “largo” incrementó conforme incrementó la duración presentada. En ambas funciones se observa la misma tendencia de datos. Las funciones correspondientes a los estímulos visuales (V) se localizan a la derecha que las otras funciones, seguida por la función de los clicks (C) y finalmente por las funciones del estímulo auditivo (A) y de parpadeo visual (P). Nuevamente para evaluar estadísticamente el desplazamiento de las funciones se obtuvo el punto de bisección con el método de mínimos cuadrados, como en los experimentos anteriores (Ver Tabla 7).



**Figuras 7A y 7B.** Funciones psicofísicas del experimento modalidad de parpadeo, para el grupo Visual (derecha) y Auditivo (izquierda). (V = Estímulos visuales constantes; A = Estímulos auditivos constantes; P = Parpadeo C = Click).

Grupo	Visual (V)	Auditivo(A)	Parpadeo (P)	Clicks(C)
V	467	426	423	459
A	507	427	429	461

**Tabla 7.** Puntos de bisección (en ms) obtenidos para cada tipo de estímulo presentado.

Se ejecutó un ANOVA en los puntos de bisección para evaluar los efectos de modalidad entrenada (Factor entregupo), el tipo estímulo presentado en la etapa de prueba (Factor intragrupo) y el orden de presentación (Covariado). Se encontró un efecto de tipo de estímulo presentado ( $F(3,48) = 8.395$ ,  $p < 0.001$ ) pero no se encontraron efectos significativos ni de modalidad entrenada ( $F(1,16) = 0.231$ ,  $p > 0.05$ ), ni de orden ( $F(3,16) = 0.953$ ,  $p > 0.05$ ). Tampoco se encontró ningún efecto de interacción entre las variables. Para evaluar los efectos de

modalidad de los estímulos prueba, el parpadeo y click, se llevaron a cabo comparaciones planeadas. Para evaluar el efecto de modalidad se compararon los puntos de bisección para los estímulos visual (V) y auditivos (A), encontrando una diferencia significativa ( $F(1, 16) = 14.825$ ,  $p < 0.01$ ). Asimismo, se compararon los puntos de bisección de los estímulos visual (V) y parpadeo (P), encontrando también una diferencia significativa ( $F(1, 16) = 16.838$ ,  $p < 0.001$ ). La comparación entre los puntos de bisección de los estímulos auditivos (A) y los clicks (C) también arrojó una diferencia significativa ( $F(1,16) = 4.936$ ,  $p < 0.05$ ). Finalmente, no se encontraron diferencias significativas al comparar los estímulos auditivos (A) y los parpadeos (P) ( $F(1, 16) = 0.0029$ ,  $p > 0.05$ ).

	Visual(V)		Auditivo(A)		Parpadeo (P)		Clicks(C)	
	UD	FW	UD	FW	UD	FW	UD	FW
Visual	53	0.12	44	0.10	50	0.12	38	0.08
Auditivo	50	0.10	41	0.10	44	0.10	43	0.09

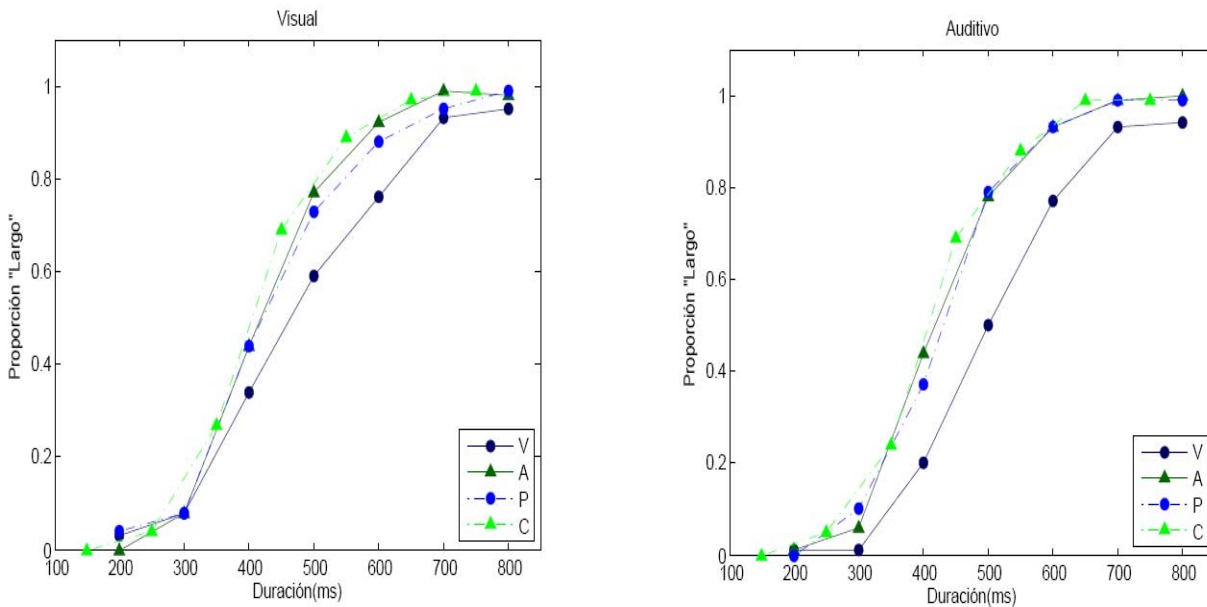
**Tabla 8.** Umbrales diferenciales y fracciones de Weber para cada tipo de estímulo presentado.

Finalmente se obtuvieron los valores del umbral diferencial y de la fracción de Weber con el mismo método que en los experimentos anteriores y se corrieron dos ANOVAs por separado para evaluar los mismos efectos que en el análisis anterior. No se encontraron efectos de modalidad entrenada ( $F(1,16) = 0.438$ ,  $p > 0.05$  y  $F(1,16) = 1.718$ ,  $p > 0.05$ , para el umbral diferencial y la fracción de Weber respectivamente), pero si un efecto de tipo de estímulo presentado ( $F(3,48) = 6.673$ ,  $p < 0.05$  y  $F(3,48) = 4.193$ ,  $p < 0.05$ ) para ambas medidas. Tampoco se obtuvo un efecto significativo de orden ( $F(3,16) = 0.159$ ,  $p > 0.05$ ) para el umbral diferencial, pero sí para la fracción de Weber ( $F(3,16) = 4.096$ ,  $p < 0.05$ ). Por último, no se encontró ningún efecto de interacción entre las variables. Pruebas Scheffé indicaron que las diferencias significativas en el umbral diferencial se presentaron al comparar los grupos V y A ( $p$

$< 0.05$ ) y V y C ( $p < 0.001$ ). Mientras que para la fracción de Weber las diferencias estuvieron entre el grupo P y C ( $p < 0.05$ ).

Los análisis estadísticos confirmaron un efecto de modalidad, i.e., los estímulos auditivos fueron juzgados como más largos que los visuales, también confirmaron un efecto de parpadeo visual, i.e., los círculos parpadeantes fueron juzgados como más largos que los círculos constantes. Sin embargo, los clicks auditivos fueron juzgados como más cortos que los estímulos auditivos constantes. Aunque esto pareciera indicar que los clicks provocaron alteraciones en la estimación temporal de estos estímulos, en realidad, parece que fueron juzgados de la misma manera que los estímulos auditivos, pero debido a cuestiones de programación las respuestas difirieron. Las secuencias de clicks fueron programadas como una secuencia de la presencia de un click de 50 ms seguido de 50 ms de silencio. Sin embargo, al final de la secuencia no hubo ningún evento que marcara que la secuencia había finalizado o que diferenciara el último bloque de silencio que formaba parte de la secuencia, del intervalo entre ensayos. La ausencia de una señal que marcara el final del intervalo pudo derivar en que el interruptor se abriera al finalizar el último click de la secuencia, provocando que los participantes juzgaran únicamente la duración del intervalo marcada por la aparición del primer click hasta la terminación del último click.

En este caso, las duraciones estimadas de estos estímulos, serían 50 ms menores que en las otras condiciones. Por lo tanto, a pesar de que los puntos de bisección para los estímulos auditivos fueron significativamente menores que para los clicks auditivos, en realidad este desplazamiento parece no deberse a la presencia de los clicks sino a la duración total de la secuencia. De hecho si se grafica la proporción de respuestas a “largo” correspondiente a la condición de clicks, contra un rango de duraciones de 150 ms a 750 ms (i.e., cada duración dentro del rango de duraciones programado menos 50 ms), la función se sobrepone a las funciones correspondientes a los estímulos auditivos y parpadeos (Ver Figura 8).



**Figuras 8A y 8B.** Funciones donde se grafica la condición Clicks en un rango de 150 a 750 ms para el grupo Visual (derecha) y Auditivo (izquierda). (V = Estímulos visuales constantes; A = Estímulos auditivos constantes; P = Parpadeo C = Click).

El que las funciones de las clasificaciones a estímulos auditivo constante, parpadeo visual y clicks se sobrepongan indica que el efecto de modalidad y de estimulación rápida no se combina. Este resultado sugiere que existen dos velocidades para el reloj interno, una “lenta” y una “rápida”. La primera velocidad opera cuando se estima la duración de estímulos visuales. Como esta velocidad es lenta, el margen de incremento a mayores velocidades es amplio y por ello se encuentra el efecto de parpadeo visual. Sin embargo, cuando se estima la duración de un estímulo auditivo, ya no es posible acelerarlo a través de estimulaciones rápidas, ya que éste ya corre a su velocidad máxima.

## Discusión

El objetivo del presente proyecto fue evaluar la hipótesis del incremento en la velocidad del reloj interno propuesto por la TEE. Se realizaron cuatro experimentos, cada uno de los cuales fue diseñado para evaluar un aspecto de las condiciones específicas en que una estimulación rápida provoca dicho incremento. En general, los resultados obtenidos sugieren que la estimulación visual rápida (parpadeo) es una manipulación que aumenta el número de clasificaciones como “largo” de diferentes duraciones, y que no importan las características específicas del parpadeo, esto es, si el parpadeo forma parte de un estímulo cuya duración se juzga, su frecuencia o su regularidad. Estos tres resultados (Experimentos 1, 2 y 3) apoyan la hipótesis que indica que la estimulación visual rápida incrementa el nivel de activación general del reloj interno propuesto por la TEE, lo cual a su vez aumenta el número de pulsos liberados por el generador, provocando que las duraciones se juzguen como más largas que cuando no se presenta el parpadeo. De la misma manera, los resultados de estos experimentos descartan tanto el reloj interno basado en osciladores propuesto en el modelo de Treisman y colaboradores (1990); así como sus predicciones, las cuales indicaban que el efecto de cada estímulo que formaba parte de la secuencia incrementaba un ciclo de cada oscilador y por ello era necesario: 1) presentar la estimulación al mismo tiempo que se lleva a cabo la estimación temporal; 2) presentarla durante todo el intervalo en que se lleva a cabo la estimación temporal; y 3) presentarla de manera regular.

De igual forma, los resultados obtenidos en los Experimentos 1 y 4, donde la duración de los mismos estímulos parpadeantes era la que se juzgaba, descartan que el efecto de parpadeo se deba a un efecto de asimilación, el cual indica que las duraciones de estímulos previos se toman en cuenta para clasificar la duración del estímulo actual. Sin embargo, los resultados obtenidos en el Experimento 2 sugieren que el presentar un estímulo previo al estímulo cuya duración se juzgará si tiene un efecto sobre la estimación temporal de este último, aunque el efecto es contrario al de asimilación. Específicamente, el efecto de asimilación indica que si se presenta una secuencia de dos estímulos, la duración percibida del segundo estímulo incrementará debido a que se toma en cuenta (i.e., asimila) la duración del primer estímulo. En este caso, en el Experimento 2 se hubieran obtenido valores del punto de bisección mayores en la condición en



que se entrenó con un estímulo constante previo, a comparación de la condición en que no se presentó ningún estímulo previo en el entrenamiento pero sí en la etapa en la que se clasificó las duraciones de los estímulos presentados (Condición 0 Hz de los grupos P-NP y NP-P, respectivamente). Contrario al efecto de asimilación, se encontraron los resultados opuestos, es decir, puntos de bisección menores cuando entrenó con un estímulo constante previo; y puntos de bisección mayores cuando la duración del segundo estímulo se clasificó como corta o larga. Estos resultados indican que al presentar una secuencia de dos estímulos constantes, lejos de incrementar la duración percibida del segundo estímulo, la disminuyó.

Este decremento podría deberse a que el estímulo previo, al ser un estímulo predecible, disminuyó el nivel de activación del sujeto y por ello, el número de pulsos liberados por el reloj también disminuyó, o bien a que, provocara que los sujetos perdieran atención a la tarea, y que no estuvieran atentos a la aparición del estímulo que marcaba la duración a estimar y por ello lo juzgaban como más corto. Ambas hipótesis podrían ponerse a prueba manipulando el rango de duraciones cuya duración se juzgará. Si el decaimiento en el valor del punto de bisección es proporcional al rango de duraciones, entonces éste indicaría un efecto en la velocidad del reloj. Si el cambio es constante, entonces el efecto sería sobre otro componente del reloj, como el interruptor, mostrando que el primer estímulo interrumpe el procesamiento del segundo, quizás debido a una falta de atención por parte de los sujetos.

Otro resultado encontrado en el Experimento 2 es que si bien hubo desplazamientos hacia la derecha cuando se presentó un parpadeo en la etapa de entrenamiento de la tarea, este efecto fue mínimo. Este resultado es similar al obtenido en el Experimento 3, donde se obtuvo un desplazamiento hacia la izquierda cuando se presentó un parpadeo en ambas etapas de la tarea. Ambos resultados indican que cuando se almacena una duración en memoria de referencia (i.e., cuando se presenta un parpadeo al entrenar las duraciones estándares), el efecto de parpadeo disminuye. Sin embargo, al observar la tendencia de los desplazamientos obtenidos en el primer experimento se observa que el efecto en la etapa de entrenamiento tiene la misma magnitud que el efecto en la etapa de prueba. Asimismo, en una investigación anterior (Ortega & López, 2008) donde se presentaron parpadeos que marcaban la duración a juzgar, se encontró efecto de parpadeo con la misma magnitud en ambas etapas de la tarea.

Cabe destacar que una diferencia entre el primer grupo de experimentos (Experimentos 2 y 3 del presente trabajo) y el segundo experimento (Ortega & López, 2008), es nuevamente la localización del parpadeo. En los primeros experimentos, el parpadeo aparece previo a la aparición del estímulo cuya duración se clasificará, mientras que en el segundo, es la duración del estímulo parpadeante la que se juzga. Esta diferencia metodológica puede resultar en que los participantes no presten mucha atención a los estímulos previos en la etapa de entrenamiento, ya que en primer lugar se les indicaba qué duración estándar iba a aparecer, i.e., aparecía un letrero que les indicaba qué duración se iba a presentar, después el estímulo parpadeante (o constante en la condición 0 Hz), y finalmente el estímulo que marca la duración corta o larga. En segundo lugar, en esta etapa no se requería de ninguna respuesta por parte del sujeto. En cambio, en la etapa de prueba, se requiere una respuesta por parte del sujeto, lo cual probablemente cause que se preste más atención a la secuencia parpadeo-estímulo. Además al presentarse las duraciones de manera aleatoria, los sujetos no tienen la certeza de qué duración aparecerá, por lo que probablemente estén atentos a toda la secuencia y por ello el efecto del parpadeo se manifieste en esta etapa y se pierda en la etapa de entrenamiento.

Por el contrario, cuando las duraciones relevantes son marcadas por estímulos parpadeantes, es menos probable que éste no sea atendido, ya sea en una etapa de entrenamiento o de prueba, ya que son los estímulos base de la tarea. Quizá esta sea la razón por la cual se han encontrado desplazamientos de las funciones en la etapa de entrenamiento cuando se estima la duración de estímulos parpadeantes y no cuando el parpadeo precede a la aparición de los estímulos estándares. Este efecto del parpadeo dependiente de la localización de la presentación del estímulo parpadeante en las diferentes etapas de la tarea sugiere, que si bien son estímulos que cumplen con las características “llamativas” que incrementen el nivel de activación del reloj, como Treisman y col. (1990) propusieron, su efecto puede ser dependiente del nivel atento que se le preste al estímulo parpadeante. Por lo tanto, podría sugerirse que el efecto de parpadeo no es al menos únicamente un efecto de nivel de activación sino que es mediado por otros mecanismos como la atención.

Otro efecto relacionado con la velocidad del reloj interno, consistente en la literatura es el efecto de modalidad, i.e., que los estímulos auditivos se juzguen como más largos que los

estímulos visuales. Aunque no se ha especificado si existen dos velocidades del reloj interno (i.e., una específica para cada modalidad), o si existen dos relojes internos, lo que si se ha sugerido como base del efecto de modalidad es una mezcla de las representaciones de las duraciones en memoria obtenidos con cada modalidad. Si no existe esta mezcla, (p. e., si las modalidades se presentan en bloques separados) el efecto de modalidad desaparece (Penney, Gibbon, & Meck, 2000). Sin embargo, la razón por la cual cada modalidad produce una u otra velocidad no ha sido explicada. Penney, et al (1998) sugirieron que los estímulos auditivos requieren menos atención que los estímulos visuales y por ello las diferencias en las velocidades del reloj, aunque su hipótesis no fue sustentada por ningún resultado experimental.

En la literatura que trata sobre diferencias entre el procesamiento de señales auditivas y visuales, un resultado conocido es que los tiempos de reacción para los estímulos auditivos son menores que los tiempos de reacción para los estímulos visuales: los tiempos de reacción para los estímulos auditivos están dentro del rango 140-160 ms, mientras que para los estímulos visuales están en el rango de 180-200 ms (Woodworth & Schlosberg, 1954; Brebner & Welford, 1980). También se ha propuesto que la respuesta para un estímulo auditivo tarda 10 ms en llegar al cerebro (Kemp, 1973), mientras que para un estímulo visual tarda de 20 a 40 ms (Marshall, Talbot & Ades, 1943), lo cual es resultado de las diferencias en complejidad de las vías visuales y auditivas. Aunque en estos estudios los juicios temporales no son la variable medida, tanto sus resultados como el efecto de modalidad en la estimación temporal implican que los estímulos auditivos se procesan más rápidamente que los visuales.

Asimismo, otra línea de investigación relacionada con la estimación temporal donde se observan diferencias debidas a la modalidad de las señales presentadas, es en la sincronización sensoriomotora (tapping). En esta tarea, se presentan secuencias de estímulos y los sujetos tienen que sincronizar el movimiento de su dedo índice con la secuencia presentada. Al comparar el desempeño de los sujetos al realizar esta tarea con secuencias de estímulos visuales con secuencias de estímulos auditivos, se han encontrado resultados similares al efecto de modalidad en la estimación temporal. En primer lugar, la sincronización sensoriomotora es más variable cuando se presentan estímulos visuales que cuando se presentan estímulos auditivos (Barlett & Barlett, 1959; Klemmer, 1967; Repp & Pennel, 2002), o la combinación de ambos (Chen, Repp

& Patel, 2002). Además, se ha encontrado un umbral de sincronización (i.e., la tasa a la que los sujetos pueden sincronizar su respuesta motora con una exactitud de 50%) de 459 ms para los estímulos visuales mientras que un umbral de 123 ms para los estímulos auditivos (Repp, 2003). Ambos resultados indican un mejor desempeño de secuencias rítmicas marcadas por sonidos que por parpadeos.

Tanto los resultados en tiempos de reacción como los de sincronización sensoriomotora indican un mejor control temporal para los estímulos auditivos que para los estímulos visuales, quizá debido a un procesamiento más rápido de los primeros. Debido a esto, habría que considerar la posibilidad que el procesamiento neuronal sean las señales temporales para el reloj interno. Sin embargo, habría que especificar qué respuestas neuronales son las relevantes: las respuestas cortico-estriatales tal y como lo propone el modelo de frecuencias de señales estriatales, en cuyo caso sería como tener un mismo reloj interno para las diferentes modalidades; o por otro lado, quizá la entrada para el reloj interno sean las respuestas neuronales de las señales procesadas.

Finalmente, no se encontró un efecto de una secuencia auditiva rápida, i. e., estos estímulos no fueron juzgados como más largos que los estímulos auditivos constantes. Aunque el efecto de los clicks sobre la velocidad del reloj interno se ha obtenido en diferentes estudios (Penton-Voak, Edwards, Percival, & Wearden, 1996; Wearden, Philpott, & Win, 1999), cabe mencionar nuevamente la diferencia metodológica entre el presente trabajo y trabajos previos: en estas investigaciones la secuencia de clicks precedía al estímulo que marca la duración relevante, mientras que en el presente trabajo, se juzgó la duración de las secuencias de estímulos auditivos. Esto parece indicar que un efecto de asimilación o bien algún tipo de interferencia es provocado al presentar una estimulación previa al estímulo cuya duración se juzgara. Mientras que cuando se estima la duración de la estimulación auditiva rápida, los juicios temporales parecen ser parecidos a cuando se estima la duración de estímulos auditivos llenos. Lo cual sugiere que en la modalidad auditiva ya no es posible incrementar la velocidad del reloj interno.

A pesar que la hipótesis del cambio en la velocidad del reloj interno tiene bastante apoyo empírico, no se ha especificado el mecanismo por medio del cual la secuencia de estímulos visuales provoca un incremento en la velocidad del reloj interno. Como se mencionó

previamente, Treisman y sus colaboradores (1990) indicaron que este tipo de estímulos son lo suficientemente llamativos como para incrementar el nivel de activación de una persona, de la misma manera que la figura y el rugido de un león incrementan el nivel de activación de una de sus presas como preparación para las conductas de huida, sin embargo esta analogía no es suficiente para explicar el fenómeno. De igual manera, el asumir un nivel de activación inherente al reloj interno, continúa siendo una hipótesis que genera varias preguntas, por ejemplo, ¿el cambio en dicho nivel de activación generado por la estimulación del ambiente (i.e., las secuencias de estímulos) sería comparable al cambio en nivel de activación fisiológico causado por los componentes de algunas sustancias (p. e., cafeína)? A pesar de que no se han especificado los mecanismos que subyacen tanto a la hipótesis del nivel de activación como al del cambio en la velocidad del reloj interno, ambas continúan siendo las explicaciones más aplicadas para los efectos de secuencias de estimulación rápida sobre los juicios temporales. Así mismo, como se mencionó anteriormente, la hipótesis de un reloj interno ha provocado que investigación reciente busque los sustratos fisiológicos del mismo, siendo una de las propuestas más recientes las respuestas neuronales.

Un posible mecanismo neuronal que podría dar cuenta del efecto de las secuencias de estímulos visuales sería un proceso similar a una sincronización neuronal, la cual se refiere a que cuando diferentes neuronas responden a un mismo estímulo, lo hacen de manera similar, i.e., se sincronizan. Esta característica de las repuestas neuronales ha sido explorada en las diferentes neuronas dentro de la cadena retino-cortical, encontrando que aún en diferentes áreas cerebrales se encuentra una sincronía de respuestas neuronales con una precisión dentro de un rango de milisegundos, siempre y cuando las neuronas respondan al mismo objeto sensorial (Engel, 2003). Igualmente, se ha observado una sincronía oscilatoria a estímulos visuales parpadeantes, siendo la frecuencia de las oscilaciones similares en diferentes áreas cerebrales (Neuenschwander & Singer, 1996; Singer, 1999), y que dicha sincronización se realiza dentro de un rango de milisegundos; ya sean sincronizaciones resultado de la frecuencia de los parpadeos presentados o de interacciones internas entre las neuronas (Rager & Singer, 1998). Finalmente, se ha propuesto que estas respuestas sirven como codificación de los estímulos ambientales en todas las modalidades, no únicamente en la visual (Lestienne, 2001).

Por lo tanto, si como se ha propuesto (Buhusi & Meck, 2005; Matell & Meck, 2000; 2004) en el modelo neurobiológico para la TEE, las respuestas de las neuronas corticales y estriatales sirven como señales para el reloj interno, o bien si las mismas respuestas que derivan de la percepción de la estimulación (p. e., la vía retino-cortical para los estímulos visuales), fueran la base del reloj interno, una sincronización entre la estimulación y dichas respuestas neuronales podría dar cuenta de los efectos de parpadeo. Sin embargo, como se mencionó anteriormente, las bases neurológicas de la TEE no están bien establecidas, y si bien la propuesta del modelo de frecuencias de señales estriatales está basada en registros celulares, aún necesita un mayor apoyo empírico para sustentar la propuesta.

Cabe destacar que el modelo neurológico de la TEE no es el único que propone algún tipo de respuesta neuronal como base para la codificación de información temporal. Existen otras propuestas que sugieren que así como varias características de los estímulos se codifican en la tasa del disparo de las neuronas, lo mismo sucede con sus características temporales. Se ha establecido que en las tasas de disparo de algunas neuronas corticales siguen un cambio de tipo “rampa”, incluso siendo casi lineal con el tiempo (Brody, Hernández, Zainos & Romo 2003; Leon & Shadlen, 2003; Niki & Watanabe, 1979). Por lo que algunos modelos proponen que la tasa de disparo es una representación lineal del tiempo.

Otros modelos proponen que los circuitos neuronales son los encargados de procesar el tiempo (Buonomano, 2000; Karmarkar & Buonomano, 2007). En estos modelos se propone que el tiempo se codifica implícitamente en los circuitos corticales, no sólo a través de los disparos neuronales, sino también a través de las propiedades de la neurona que tienen un efecto sobre la tasa de disparo, como lo son el estado del potencial de cada neurona y la fuerza sináptica en cada unidad temporal. Estos modelos sugieren que las respuestas neuronales sirven de alguna manera como marcadores temporales, por lo que sería coherente que una sincronización neuronal sea la base para los efectos de parpadeo.

Sin embargo, si algún mecanismo similar a la sincronización fuera el responsable del efecto de parpadeo sobre las estimaciones temporales, habría que considerar que la sincronización entre la respuesta neuronal y la frecuencia de parpadeo no sería exacta, ya que los resultados del Experimento 2 del presente trabajo no mostraron una relación entre diferentes

frecuencias de parpadeo y el aumento en los juicios temporales, ni en el Experimento 3 se encontró un efecto de la irregularidad del parpadeo. Por lo que más que sincronizar cada estímulo con la respuesta neuronal (una idea similar a la que propondrían Treisman y colaboradores entre la relación de cada estímulo y los ciclos de los osciladores), la sincronización se llevaría a cabo entre la estimulación rápida y las respuestas neuronales.

Por otro lado, también habría que especificar la razón de la ausencia de un efecto de estimulación rápida auditiva, como se obtuvo en el experimento 4, i. e., los clicks auditivos se percibieron con la misma magnitud que los estímulos auditivos llenos. Dicha diferencia entre las secuencias rápidas en la modalidad visual y en la modalidad auditiva podría sugerir que no se utiliza la misma señalización neuronal para las estimaciones temporales como lo propone el modelo neurológico para la TEE, sino que la estimación temporal de los estímulos en diferentes modalidades se codifica en las vías que codifican dichas señales.

Por lo tanto, se requiere en primer lugar una mayor investigación para establecer firmemente las bases neurológicas de la estimación temporal para posteriormente explorar 1) si los efectos de parpadeo en las estimaciones temporales se deben a un mecanismo similar a una sincronización neuronal con la estimulación visual, y así especificar la relación entre la estimulación visual rápida, las respuestas neuronales y los juicios temporales; y 2) si los efectos de modalidad en las estimaciones temporales se debe a que diferentes vías codifican la información visual y auditiva (lo que sería similar a tener dos o más relojes internos). Y probablemente, a partir de esos descubrimientos se concluya que la hipótesis de uno o varios relojes internos como base para la estimación temporal, como se ha venido manejando desde hace mucho tiempo atrás, es de hecho el mecanismo que nos permite guiarnos temporalmente en nuestro ambiente.

## Conclusiones

El presente trabajo apoya la hipótesis del incremento de la velocidad del reloj interno propuesto por la TEE. Dentro de este marco teórico y con los resultados obtenidos en el presente trabajo, se concluye que dicho cambio es resultado a su vez, de un incremento general inmediato del nivel de activación del reloj interno, más que de un efecto sobre cada pulso liberado. Asimismo, se apoya la hipótesis de diferentes velocidades del reloj dependientes de la modalidad (i. e. una velocidad menor para la modalidad visual mientras que una velocidad mayor para la modalidad auditiva). Finalmente, proporciona evidencia que sugiere que el reloj interno opera sólo bajo estas dos velocidades, ya que las duraciones percibidas de un parpadeo visual son iguales a las de los estímulos auditivos.

A pesar de que de manera general, los resultados de los cuatro experimentos reportados apoyan una de las propiedades propuestas para el reloj interno por la TEE (i. e., que el reloj corre a diferentes velocidades), aún quedan ciertos aspectos por aclarar, como son los mecanismos por los cuales se obtienen las diferentes velocidades. Cabe resaltar que, como se mencionó anteriormente, el modelo fue desarrollado para explicar la propiedad escalar en los procedimientos operantes temporales en sujetos animales, y posteriormente se generalizó hacia la estimación temporal humana. Por ello, aunque han existido propuestas que han modificado el modelo para añadir el efecto de variables cognitivas como la atención (Burle & Cansini, 2001), la TEE se encuentra aún un poco alejada de otros aspectos de las líneas de investigación de la percepción humana, las cuales podrían enriquecer al modelo y resolver algunas de las cuestiones que no se han especificado hasta el momento, como la analogía de la acumulación de pulsos como señales de entrada para el reloj interno. Sin embargo, recientemente han surgido propuestas alternas que investigan las bases fisiológicas de la estimación temporal, las cuales también pueden enriquecer a la TEE y en consecuencia, a las explicaciones sobre los diferentes efectos que se conoce afectan a la estimación temporal.

A pesar de la falta de claridad en algunas de las analogías de la TEE, este modelo continúa siendo una de las teorías más aplicadas para explicar diferentes fenómenos en la estimación temporal animal y la teoría más aplicada para la estimación temporal humana, tanto para el efecto del cambio de velocidad del reloj interno, como para otros efectos no desarrollados



dentro de esta investigación. Esto se debe a que es un modelo robusto y capaz de predecir las respuestas temporales de diferentes especies bajo diferentes condiciones y procedimientos, por lo que es provechoso tanto continuar aplicándolo como base para el desarrollo de diferentes investigaciones, como revisar el desarrollo del tema en diferentes áreas como fisiología y cognición y con los resultados obtenidos, enriquecerla.

Referencias

- Allan, L. G. (1998). The Influence Of The Scalar Timing Model On Human Timing Research, *Behavioural Processes*, 44, 101-117.
- Allan, L. G. & Gibbon, J. (1991). Human Bisection At The Geometric Mean, *Learning and Motivation*, 22, 39-58.
- Artieda, J., Pastor, M. A., Lacruz, F. & Obeso, J. A. (1992). Temporal discrimination is abnormal in Parkinson's disease. *Brain*, 115, 199-210.
- Bartlett, N. R. & Bartlett, S. C. (1959). Synchronization of a motor response with an anticipated sensory event. *Psychological Review*, 66, 203–218.
- Beiser, D. G. & Houk, J. C. (1998). Model Of Cortical-Basal Ganglionic Processing: Encoding The Serial Order Of Sensory Events, *Journal of Neurophysiology*, 79, 3168-3188.
- Block, R. A. (1982). Temporal judgments and contextual change. *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory and Cognition*, 8, 530-544.
- Block, R. A. (2003). Psychological timer without a timer: The roles of attention and memory. En H. Helfrich (Ed.), *Time and Mind II: Information Processing Perspectives*. (Pp. 41-59). Germany: Hogrefe & Huber.
- Block, R. A. & Zakay, D. (1997) Prospective and retrospective duration judgments: A meta-analytic review. *Psychonomic Bulletin & Review*, 4, 184-197.
- Botella, P., Bosch, F., Romero, F. J. & Parra, A. (2001). Sex Differences In Estimation Of Time Intervals And In Reaction Time Are Removed By Moderate But Not High Doses Of Caffeine In Coffee. *Human Psychopharmacology: Clinical & Experimental*, 16, 533-540.
- Brainard, D. H. (1997) The Psychophysics Toolbox, *Spatial Vision*, 10, 433-436.
- Brebner, J. T. & Welford, A. T. (1980). Introduction: an historical background sketch. En A. T. Welford (Ed.), *Reaction Times* (Pp. 1-23). New York: Academic Press.

- Brody, C. D., Hernández, A., Zainos, A. & Romo, R. (2003). Timing and neural encoding of somatosensory parametric working memory in macaque prefrontal cortex. *Cerebral Cortex*, *13*, 1196-1207.
- Brown, S. W. (1995) Time, Change And Motion: The Effects Of Stimulus Movement On Temporal Perception. *Perception & Psychophysics*, *57*, 105-116.
- Brown, S. W. (1997). Attentional resources in timing: interference effects in concurrent temporal and nontemporal working memory tasks. *Perception & Psychophysics*, *59*, 1118-1140.
- Brown, G. D., McCormack, T., Smith, M. & Stewart, N. (2005) Identification and bisection of temporal durations and tone frequencies: common models for temporal and nontemporal stimuli. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *31*, 919-38.
- Buhusi, C. V. & Meck, W. H. (2002). Differential Effects Of Methamphetamine And Haloperidol On The Control Of An Internal Clock. *Behavioural Neuroscience*, *116*, 291-297.
- Buhusi, C. V. & Meck, W. H. (2005). What make us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature Reviews Neuroscience*, *6*, 755-765.
- Buonomano, D. V. (2000). Decoding temporal information: a model based on short-term synaptic plasticity. *The Journal of Neuroscience*, *20*, 1129-1141.
- Burle, B. & Cansini, L. (2001). Dissociation Between Activation And Attention Effects In Time Estimation: Implications For Internal Clock Models. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *27*, 195-205.
- Cabeza de Vaca, S., Brown, B. L. & Hemmes, N. (1994). Internal clock and memory processes in animal timing. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *20*, 184-198.

- Carrasco M. C., Bernal M. C. & Redolat, R. (2001). Time estimation and aging: A comparison between young and elderly adults. *International Journal of Aging And Human Development*, 52, 91-101.
- Cevik, M. O. (2003). Effects of methamphetamine on duration discrimination. *Behavioural Neuroscience*, 117, 774-784.
- Chaston, A. & Kingstone, A. (2004). Time estimation: the effect of cortically mediated attention, *Brain and cognition*, 55, 286-289.
- Chen, Y., Repp, B. H. & Patel, A. D. (2002). Spectral decomposition of variability in synchronization and continuation tapping: Comparisons between auditory and visual pacing and feedback conditions. *Human Movement Science*, 21, 515-532.
- Cheng, R. K., Hahak, O. & Meck, W. H. (2007). Habit formation and the loss of control of an internal clock: Inverse relationship between the level of baseline training and the clock-speed enhancing effects of methamphetamine. *Psychopharmacology*, 193, 351-362.
- Cheng, R. K., MacDonald, C. J. & Meck, W. H. (2006). Differential effects of cocaine and ketamine on time estimation: implications for neurobiological models of interval timing. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*, 85, 114-122.
- Chiang, T. J., Al-Ruwaitea, A. S. A, Mobini, S., Ho, M. Y., Bradshaw, C. M. & Szabadi E. (2000). The effect of d-amphetamine on performance on two operant timing schedules. *Psychopharmacology*, 150, 170-184.
- Church, R. M. (1978). The Internal Clock. En S.H. Hulse, H. Fowler & W. K. Honig (Eds.), *Cognitive Processes in Animal Behavior*. (Pp 277-310). Hillsdale, N.J.: Erlbaum.
- Church, R. M. (1980). Short-term memory for time intervals. *Learning and Motivation*, 11, 208-219.
- Church, R. M. (1984). Properties of the internal clock. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423, 566-582.

- Church, R. M. (1997). Timing And Temporal Search. En C. M. Bradshaw & E. Szabadi (Eds.), *Time and behaviour: Psychological and Neurobehavioral Analyses*. (Pp. 41-78). Amsterdam: Elsevier Science B.V.
- Church, R. M. (2003). A concise introduction to scalar timing theory. En Meck W.H (Ed.), *Functional And Neural Mechanisms Of Interval Timing*. (Pp 3- 22). Boca Raton, FL, US: CRC PRESS.
- Church, R. M. & Deluty, M. Z. (1977). Bisection of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 3, 216-228.
- Church, R. M. & Gibbon, J. (1982). Temporal Generalization. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 8, 165-186.
- Creelman, C. D. (1962). Human discrimination of auditory duration. *The journal of the acoustical society of America*, 34, 582-593.
- Delgado, M. L. & Droit-Volet, S. (2007). Testing the representation of time in reference memory in the bisection and generalization task: The utility of a developmental approach. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 60, 820-836.
- Drew, M. R., Fairhurst, S., Malapani, C., Horvitz, J. C. & Balsam, P. D. (2003). Effects of dopamine antagonists on the timing of two intervals. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*, 75, 9-15.
- Droit-Volet, S. (2002). Scalar timing in temporal generalization in children with short and long stimulus durations. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55A, 1193-1209.
- Droit-Volet, S. & Wearden, J. H. (2001). Temporal bisection in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80, 142-159.
- Droit-Volet, S. & Wearden, J. H. (2002). Speeding Up An Internal Clock In Children? Effects Of Visual Flicker On Subjective Duration, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 55B, 193- 211.

- Droit-Volet, S., Clement, A. & Wearden, J. H. (2001). Temporal Generalization in children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80, 271-288.
- Droit-Volet, S., Tournet, S. & Wearden, J. H. (2004). Perception of the duration of auditory and visual stimuli in children and adults. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 57A, 797-818.
- Durston, S., Davidson, M. C., Mulder, M. J., Spicer, J. A., Galvan, A., Tottenham, N., Scheres, A., Castellanos, F. C., van Engeland, H. & Casey, B. J. (2007). Neural and behavioral correlates of expectancy violations in attention-deficit hyperactivity disorder. *Journal of Child Psychology and Psychiatry and Allied Disciplines*, 48, 881-889.
- Engel, A. K. (2003). Time and conscious visual processing. En H. Helfrich (Ed.), *Time and mind II. Information processing perspectives* (Pp. 141-159). Germany: Hogrefe & Huber.
- Ferrara, A., Lejeune, H. & Wearden, J. H. (1997). Changing sensitivity to duration in human scalar timing: An experiment, a review, and some possible explanations. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 50B, 217-237.
- Fetterman, J. G. & Killeen, P. R. (1990). A Componential Analysis of Pacemaker-Counter Timing Systems. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 766-780
- Fetterman, J. G. & Killeen, P. R. (1991). Adjusting the pacemaker. *Learning and Motivation* 22, 226-252.
- Fetterman, J. G. & Killeen, P. R. (1992). Time discrimination in Columba livia and Homo sapiens, *Journal of Experimental Psychology: Animal Behaviour Processes*, 18, 80-94.
- Fetterman, J. G., Killeen, P. R. & Hall, S. (1998). Watching the clock. *Behavioural Processes*, 44, 211-224
- Gallistel, R. C. & Gibbon, J. (2000). Time, Rate and Conditioning. *Psychological Review*, 107, 289-344.

- Gescheider, G. A. (1997). *Psychophysics: The Fundamentals*. Third Edition. New Jersey, USA: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gibbon, J. (1977). Scalar Expectancy Theory And Weber's Law In Animal Timing. *Psychological Review*, *84*, 279-325.
- Gibbon, J. (1986). The Structure Of Objective Time: How Time Flies, The Psychology Of *Learning and Motivation*, *20*, 105-135.
- Gibbon, J. (1991). Origins Of Scalar Timing, *Learning and Motivation*, *22*, 3-38.
- Gibbon, J., & Church, R. M. (1984). Sources Of Variance In An Information Processing Theory Of Timing. En Roitblat, Bever & Terrace (Eds.), *Animal Cognition*, (Pp. 465-488). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gibbon, J., & Church, R. M. (1990). Representation of time. *Cognition*, *37*, 23-54.
- Gibbon, J., Malapani, C., Dale, C. L., & Gallistel, C. R. (1997). Towards A Neurobiology Of Temporal Cognition: Advances And Challenges. *Current Opinion in Neurobiology*, *7*, 170-184.
- Goldstone, S., Lhamon, W. T., & Sechzer, J. (1978). Light Intensity And Judged Duration. *Bulletin Of The Psychonomic Society*, *12*, 83-84.
- Grondin, S. (2003). Sensory modalities and temporal processing. En H. Helfrich (Ed.), *Time and Mind II: Information Processing Perspectives*, (Pp. 61-77). Germany: Hogrefe & Huber.
- Grondin, S. (2001). Discriminating time intervals presented in sequences marked by visual signals. *Perception & Psychophysics*, *63*, 1214-1228.
- Grondin, S., Meilleur-Wells, G. & Lachance, R. (1999). When to start explicit counting in a time-intervals discrimination task: A critical point in the timing process of humans. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, *25*, 993-1004.

- Grondin, S., Ouellette, C. & Roussel, M. E. (2004). Benefits and limits of explicit counting for discriminating temporal intervals. *Canadian Journal of Experimental Psychology*, 58, 1-12.
- Grondin, S., Meilleur-Wells, G., Ouellette, C., & Macar, F. (1998). Sensory Effects On Judgments Of Short-Time Intervals. *Psychological Research*, 61, 261-268.
- Gruber, R. P. & Block, R. A. (2003). Effect of caffeine on prospective and retrospective duration judgements. *Human Psychopharmacology: Clinical & Experimental*, 18, 351-359.
- Gruber, R. P. & Block, R. A. (2005). Block Effects of caffeine on prospective duration judgements of various intervals depend on task difficulty. *Human Psychopharmacology: Clinical & Experimental*, 20, 275 - 285.
- Guilhardi, P., Yi, L. & Church, R. M. (2007). A modular theory of learning and performance. *Psychonomic Bulletin & Review*, 14, 543-559.
- Gunstad, J., Cohen, R. A., Paul, R. H., Luyster, F. S. & Gordon, E. (2006). Age effects in time estimation: relationship to frontal brain morphometry. *Journal of Integrative Neuroscience*, 5, 75-87.
- Hazeltine, E., Helmuth, L. L. & Ivry, R. (1997). Neural Mechanisms of Timing. *Trends in Cognitive Sciences*, 1, 163-169.
- Hinton, S. C. & Meck, W. H. (2004). Frontal-Striatal Circuitry Activated By Human Peak-Interval Timing In The Supra-Seconds Range. *Cognitive Brain Research*, 21, 171-182.
- James, W. (1890). The perception of time. Cap 15, The principles of psychology, Pp. 1-25 <http://psychclassics.yorku.ca/James/Principles/prin15.htm>.
- Karmarkar, U. & Buonomano, D. V. (2007). Temporal specificity of perceptual learning in an auditory discrimination task. *Learning and Memory*, 10, 141-147.
- Kemp, B. J. (1973). Reaction time of young and elderly subjects in relation to perceptual deprivation and signal-on versus signal-off condition. *Developmental Psychology*, 8, 268-272.



- Killeen, P. R. & Fetterman, J. G. (1988). A behavioral theory of timing. *Psychological review*, 95, 274-295.
- Kladopoulus, C. N., Hemmes, N. S. & Brown, B. L. (2004). Prospective Timing Under Dual-Task Paradigms: Attentional And Contextual-Change Mechanisms. *Behavioural Processes*, 67, 221-233.
- Klapproth, F. (2003). Notable results regarding temporal memory and modality. En H. Helfrich (Ed.), *Time and mind II. Information processing perspectives* (Pp. 79-96). Germany: Hogrefe & Huber.
- Klemmer, E. T. (1967). Sequences of responses to signals encoded in time only. *Acta Psychologica*, 27, 197-203.
- Lejeune, H. (1998). Switching or gating? The attentional challenge in cognitive models of psychological time. *Behavioural Processes*, 44, 127-145.
- Lejeune, H. (2000). Prospective timing, attention and the switch: A response to 'Gating or switching? Gating is a better model of prospective timing' by Zakay. *Behavioural Processes*, 52, 71-76.
- Leon, M. I. & Shadlen, M. N. (2003). Representation of time by neurons in the posterior parietal cortex of the macaque. *Neuron*, 38, 317- 327.
- Lestienne, R. (2001). Spike timing, synchronization and information processing on the sensory side of the central nervous system, *Progress in Neurobiology*, 65, 545-591
- Lewis, P. A. & Miall, R. C. (2003). Overview: An Image Oh Human Interval Timing. En Meck W. H. (Ed.), *Functional And Neural Mechanisms Of Interval Timing*. (Pp. 515-532). Boca Raton, Fl. US: CRC PRESS.
- Lhamon, W. T. & Goldstone, S. (1975). Movement And The Judged Duration Of Visual Targets. *Bulletin Of The Psychonomic Society*, 5, 53-54.

- MacDonald, C. J. & Meck W. H. (2004). Systems-level integration of interval timing and reaction time. *Neuroscience and Biobehavioral Reviews*, 28, 747–769.
- Machado A. (1997) Learning the temporal dynamics of behavior. *Psychological Review*, 104, 241-265.
- Machado, A. & Keen, R. (1999) Learning to Time (Let) or Scalar Expectancy Theory (Set)? A Critical Test of Two Models of Timing. *Psychological science*, 10, 285-290.
- Malapani, C., Deweer, B. & Gibbon, J. (2002). Separating Encoding And Decoding Dysfunctions Of Memory For Time In Parkinson's Disease. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 14, 311-322.
- Maricq, A. V., Roberts, S. & Church, R. M. (1981). Methamphetamine And Time Estimation, *Journal of Experimental Psychology: Animal Behaviour Processes*, 7, 18-30.
- Marshall, W. H., Talbot, S. A. & Ades, H. W. (1943). Cortical response of the anaesthetized cat to gross photic and electrical afferent stimulation. *Journal of Neurophysiology*, 6, 1-15.
- Matell, M. S. & Meck, W. H. (2000). Neuropsychological Mechanisms Of Interval Timing Behavior, *BioEssays*, 22, 94-103.
- Matell, M. S. & Meck, W. H. (2004). Cortico-Striatal circuits and interval Timing: coincidence detection of oscillatory processes. *Cognitive Brain research*, 21, 139-170.
- Matell, M. S., Bateson, M. & Meck, W. H (2006). Single-trials analyses demonstrate that increases in clock speed contribute to the methamphetamine-induced horizontal shifts in peak-interval timing functions. *Psychopharmacology*, 188, 201-212.
- Matell, M. S., King, G. R. & Meck, W. H. (2004). Differential Modulation of Clock Speed by the Administration of Intermittent Versus Continuous Cocaine. *Behavioral Neuroscience*, 118, 150-156.
- Matell, M. S., Meck, W. H. & Nicoleis, M. A. L. (2003a). Integration Of Behavior And Timing: Anatomically Separate Systems Or Distributed Processing? En Meck W.H (Ed.),

*Functional And Neural Mechanisms Of Interval Timing*. (Pp. 371- 391). Boca Raton, FL, US: CRC PRESS.

Matell, M. S., Meck, W. H. & Nicolelis, M. A. L. (2003b). Interval Timing And The Encoding Of Signal Duration By Ensembles Of Cortical And Striatal Neurons. *Behavioral Neuroscience*, 117, 760-773.

McCormack, T., Brown, G. D. A., Maylor, E. A., Darby, R. J. & Green, D. (1999). The development of time estimation: Comparing childhood and old age. *Developmental Psychology*, 35, 1143-1155.

Meck, W. H. (1983). Selective Adjustment Of The Speed Of Internal Clock And Memory Processes, *Journal of Experimental Psychology: Animal Behaviour Processes*, 9, 171-201.

Meck, W. H. (1996). Neuropharmacology of timing and time perception, *Cognitive Brain Research*, 3, 227-242.

Meck, W. H. (2006a). Frontal cortex lesions eliminate the clock speed effect of dopaminergic drugs on interval timing, *Brain Research*, 1108, 157-167.

Meck, W. H. (2006b). Neuroanatomical localization of an internal clock: A functional link between mesolimbic, nigrostriatal, and mesocortical dopaminergic systems, *Brain Research*, 1109, 93-107.

Meck, W. H. & Benson, A. M. (2002) Dissecting The Brain's Internal Clock: How Frontal-Striatal Circuit Keeps Time And Shifts Attention. *Brain and Cognition*, 48, 195-211.

Meck, W. H. & Church, R. M. (1987a). Nutrients That Modify The Speed Of Internal Clock And Memory Storage Processes, *Behavioral Neuroscience*, 101, 465-475.

Meck, W. H. & Church, R. M. (1987b). Cholinergic Modulation Of The Content Of Temporary Memory, *Behavioral Neuroscience*, 101, 457-464.

- Meck, W. H., Church, R. M. & Gibbon, J. (1985). Temporal Integration In Duration And Number Discrimination, *Journal of Experimental Psychology: Animal Behaviour Processes*, 11, 591-597.
- Meck, W. H., Church, R. M. & Olton, D. S. (1984). Hippocampus, Time And Memory, *Behavioural Neuroscience*, 98, 3-22.
- Morrissey, G., Wogar, M. A., Bradshaw, C. M. & Szabadi, E. (1993). Effect of lesions of the ascending 5-hydroxytryptaminergic pathways on timing behaviour investigated with an interval bisection task. *Psychopharmacology*, 112, 80-85.
- Neuenschwander, S. & Singer W. (1996). Long-range synchronization of oscillatory light responses in the cat retina and lateral geniculate nucleus. *Nature*, 379, 728-732.
- Niki, H. & Watanabe, M. (1979). Prefrontal and cingulate unit activity during timing behavior in the monkey. *Brain Research*, 171, 213-224.
- Odum A. L. & Ward R. D. (2007). Characterizing the effects of d-amphetamine on temporal discrimination. *Behavioural Processes*, 75, 156-166.
- Odum A. L. (2002). Behavioral pharmacology and timing. *Behavioural Processes*, 57, 107-120.
- Odum, A. L., Lieving, L. M. & Schaa, D. W. (2002). Effects of D-amphetamine in a temporal discrimination procedure: selective changes in timing or rate dependency? *Journal of Experimental Psychology: Animal Behaviour Processes*, 78, 195-214.
- Ortega, L. & López, F. (2008), Effects of visual flicker on subjective time in a temporal bisection task. *Behavioural Processes*, 78, 380-386.
- Pastor, M. A., Day, B. L., Macaluso, E., Friston K. J. & Frackowiak, R. S. J. (2004). The Functional Neuroanatomy Of Temporal Discrimination, *The Journal of Neuroscience*, 24, 2585 -2591.
- Pelli, D. G. (1997). The VideoToolbox software for visual psychophysics: Transforming numbers into movies, *Spatial Vision*, 10, 437-442.

- Penney, T., Gibbon, J. & Meck, W. H. (2000). Differential effects of auditory and visual signals on clock speed and temporal memory. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26, 1770-1787.
- Penney, T., Allan, L. G., Meck, W. H. & Gibbon, J. (1998). Memory Mixing In Duration Bisection. En C. E. Collyer & D. A. Rosebaum (Eds.), *Timing of behaviour: Neural, psychological, and computational perspectives*. (Pp. 165-193). Cambridge, M.A.: MIT Press.
- Penton-Voak, I. S., Edwards, R., Percival, K. & Wearden, J. H. (1996). Speeding Up An Internal Clock In Humans? Effects Of Click Trains On Subjective Duration, *Journal of Experimental Psychology: Animal Behaviour Processes*, 22, 307-320.
- Rager, G. & Singer, W. (1998). The response of cat visual cortex to flicker stimuli of variable frequency. *European Journal of Neuroscience*, 10, 1856-1877.
- Rakitin, B. C., Gibbon, J., Penney, T., Malapani, C., Hinton, S. C. & Meck, W. H. (1998). Scalar Expectancy Theory and Peak- Interval Timing In Humans, *Journal of Experimental Psychology: Animal Behaviour Processes*, 24, 15-33.
- Rammsayer, T. H. (1997). Effects of body core temperature and brain dopamine activity on timing processes in humans. *Biological Psychology*, 46, 169-192.
- Rammsayer, T. H. (2003). Sensory and cognitive mechanisms in temporal processing elucidated by a model system approach. En H. Helfrich (Ed.), *Time and Mind II: Information Processing Perspectives*. (Pp. 97-113). Germany: Hogrefe & Huber.
- Rao, S. M., Mayer, A. R. & Harrington, D. L. (2001). The Evolution Of Brain Activation During Temporal Processing. *Nature Neuroscience*, 4, 317-323.
- Rattat, A. C. & Droit-Volet, S. (2001). Variability in 5- and 8-year-olds' memory for duration: An interfering task in temporal bisection. *Behavioural Processes*, 55, 81-91.

- Repp, B. H. (2003). Rate limits in sensorimotor synchronization with auditory and visual sequences: The synchronization threshold and the benefits/costs of interval subdivision. *Journal of Motor Behavior*, 35, 355-370.
- Repp, B. H. & Penel, A. (2002). Auditory dominance in temporal processing: New evidence from synchronization with simultaneous visual and auditory sequences. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 28, 1085-99.
- Riesen, J. M. & Schnider, A. (2001). Time estimation in Parkinson's disease: Normal long duration estimation despite impaired short duration estimation. *Journal of Neurology*, 248, 27-35.
- Roberts, R. (1981). Isolation of an internal clock *Journal of Experimental Psychology: Animal Behaviour Processes*, 7, 242-268.
- Roberts, W. A., Cheng, K. & Cohen, J. S. (1989). Timing light and tone signals in pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 15, 23-35.
- Rodriguez-Girones, M. A. & Kacelnik, A. (1998) Response latencies in temporal bisection: implications for timing models. En: DeKeyser, V., d'Ydewalle, G., Vandierendonck, A. (Eds.), *Time and the Dynamic Control of Behavior* (Pp. 51-70). Germany: Hogrefe and Huber.
- Santi, A., Coppa, R. & Ross, L. (2001). Effects of the dopamine D2 agonist quinpirole on time and number processing in rats. *Pharmacology, Biochemistry and Behavior*, 68, 147-155.
- Singer, W. (1999). Neuronal synchrony: a versatile code for the definition of relations? *Neuron*, 24, 49-65.
- Smith, J. G., Harper, D. N., Gittings, D. & Abernethy D. (2007). The effect of Parkinson's disease on time estimation as a function of stimulus duration range and modality. *Brain & Cognition*, 64, 130-143.

- Spetch, M. L. & Wilkie, D. M. (1983). Subjective shortening: a model of pigeons' memory for event duration. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 9, 14-30.
- Stine, M. M., O'Connor, R. J., Yatko, B. R., Grunberg, N. E. & Klein, L. C. (2002). Evidence for a relationship between daily caffeine consumption and accuracy of time estimation. *Human Psychopharmacology: Clinical & Experimental*, 17, 361-367.
- Toplak, M. E., Dockstader, C. & Tannock, R. (2006). Temporal information processing in ADHD: Findings to date and new methods. *Journal of Neuroscience Methods*, 151, 15-29.
- Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the "internal clock". *Psychological Monographs*, 77, 1-31.
- Treisman, M. (1984). Temporal rhythms and cerebral rhythms. En J. Gibbon & L. Allan (Eds.), *Timing and time perception, Annals of the New York Academy of Sciences*, 423, 542-565.
- Treisman, M. & Brogan, D. (1992). Time perception and the internal clock: Effects of visual flicker on the temporal oscillator. *European Journal of Cognitive Psychology*, 4, 41-70.
- Treisman, M., Faulkner, A. & Naish, P. L. N. (1992). On the relation between time perception and the timing of motor action: evidence for a temporal oscillator controlling the timing of movement. *The Quarterly Journal Of Experimental Psychology*, 45A, 235-263.
- Treisman, M., Faulkner, A., Naish, P. L. N. & Brogan, D. (1990). The internal clock: Evidence for a temporal oscillator underlying time perception with some estimates of its characteristic frequency. *Perception*, 19, 705-743.
- Wearden, J. H. (1991a). Do Human Possess An Internal Clock With Scalar Timing Properties? *Learning and Motivation*, 22, 59-83.
- Wearden, J. H. (1991b). Human Performance On An Analogue Of An Interval Bisection Task, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 43B, 59-81.
- Wearden, J. H. (1999). 'Beyond the fields we know...' exploring and developing scalar timing theory. *Behavioural Processes*, 45, 3-21.

- Wearden, J. H. (2001). Internal clocks and the representation of time. En C. Hoerl & T. McCormack (Eds.), *Time and memory: Issues in philosophy and psychology* (Pp. 37-58). Oxford: Clarendon Press.
- Wearden, J. H. (2003). Applying the scalar timing model to human time psychology: Progress and challenges. En H. Helfrich (Ed.), *Time and mind II: Information processing perspectives* (Pp. 21-39). Germany: Hogrefe & Huber.
- Wearden, J. H. (2004). Decision processes in models of timing. *Acta Neurobiologica Experimentale*, 64, 303-317.
- Wearden, J. H. (2005). Origines et développement des théories d'horloge interne du temps psychologique. *Psychologie Française*, 50, 7-25.
- Wearden, J. H. & Bray, S. (2001). Scalar timing without reference memory? Episodic temporal generalization and bisection in humans. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology* 54B, 289-309.
- Wearden, J. H. & Culpin, V. (1998). Exploring scalar timing theory with human subjects. En: DeKeyser, V., d'Ydewalle, G. & Vandierendonck, A. (Eds.), *Time and the Dynamic Control of Behavior* (Pp. 33-49). Germany: Hogrefe and Huber.
- Wearden, J. H. & Ferrara, A. (1993). Subjective Shortening In Human's Memory For Stimulus Duration. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 46B, 163-186.
- Wearden, J. H. & Ferrara, A. (1995). Stimulus spacing effects in temporal bisection by humans. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 48B, 289-310.
- Wearden, J. H. & Ferrara, A. (1996). Stimulus Range Effects In Temporal Bisection By Humans. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 49B, 24-44.
- Wearden J. H. & Grindrod, R. (2003). Manipulating decision processes in the human scalar timing system. *Behavioural Processes*, 61, 47-56.



- Wearden, J. H. & McShane, A. (1988). Interval production task as an analogue of the peak procedure: Evidence for similarity of Human and Animal Timing Processes, *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 40B, 363-375.
- Wearden, J. H. & Penton-Voak, I.S. (1995). Feeling the heat: Body temperature and the rate of subjective time, revisited. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 48B, 129-141.
- Wearden, J. H. & Towse, J. (1994). Temporal generalization in humans: three further studies. *Behavioural Processes*, 32, 247–264.
- Wearden, J. H., Philpott, K. & Win, T. (1999). Speeding And (...Relatively...) Slowing Down An Internal Clock In Humans, *Behavioural Processes*, 46, 63-73.
- Wearden, J. H., Pilkington R. & Carter, E. (1999). ‘Subjective Lengthening’ During Repeated Testing Of A Simple Temporal Discrimination, *Behavioural Processes*, 46, 25-38.
- Wearden, J. H., Rogers. P. & Thomas, R. (1997). Temporal bisection in humans with longer stimulus durations. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 50B, 79-94.
- Wearden, J. H., Todd, N. P. M. & Jones, L. A. (2006). When do auditory/visual differences in duration judgements occur? *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 59, 1709-1724.
- Wearden, J. H., Wearden, A. J. & Rabbitt, P. M. A. (1997). Age and IQ effects on stimulus and response timing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 962- 979.
- Wearden, J. H., Denovan. L., Fakhri, M. & Haworth, R. (1997). Scalar timing in temporal generalization in humans with longer stimulus durations. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 23, 502-511.
- Wearden, J. H., Edwards, R., Fakhri, M. & Percival, A. (1998). Why “Sounds Are Judged Longer Than Lights”: Application Of A Model Of The Internal Clock In Humans *The Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 51B, 97-120.

- Woodworth, R. S. & Schlosberg, H. (1954). *Experimental Psychology*. New York: Holt, Rinehart & Winston.
- Yang, B., Chan, R. C. K., Zou X., Jing J., Mai J. & Li J. (2007). Time perception deficit in children with ADHD. *Brain Research, 1170*, 90-96.
- Zakay, D. (1993). Time estimation methods--do they influence prospective duration estimates? *Perception, 22*, 91-101.
- Zakay, D. (2000). Gating or switching? Gating is a better model of prospective timing (a response to 'switching or gating?' by Lejeune). *Behavioural Processes, 52*, 63-69.
- Zakay, D. & Block, R. A. (1997) Temporal Cognition. *Current Directions in Psychological Science 6*, 12-16.