



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

**Estimación temporal en seres humanos en
el Procedimiento Pico: Efectos de la
duración y localización de interrupciones.**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN PSICOLOGÍA
P R E S E N T A :
RAMSÉS VÁZQUEZ LIRA

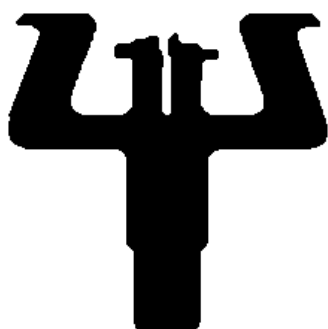
Director: Dr. Oscar Vladimir Orduña Trujillo

Revisor: Dr. Florente López Rodríguez

Sinodales: Dr. Arturo Bouzas Riaño

Dra. Judith Marina Menez Díaz

Dr. Oscar Zamora Arévalo



Tesis apoyada por el proyecto 82990-H de CONACYT
e IN 305109 de PAPIIT

MÉXICO, D.F.

NOVIEMBRE 2010



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.

Dedicatorias

A mi gran orgullo en la vida, Amelia y Juan; por darme la vida y colmarla de amor, cariño y apoyo incondicional; agradezco también sus valiosas enseñanzas, ya que ustedes han sido mis mejores maestros, como olvidar nuestras prolongadas y cautivadoras tertulias acompañadas por una buena copa de vino o taza de café...

A Juan Carlos y Luisa, por procurar mi bienestar, cariño y felicidad a lo largo de mi vida, además de sembrar en el corazón de un niño la inquietud y el gusto por la ciencia, además de ser desde siempre el orgullo profesional de mi vida.

A Mayra, por brindarme tu amor, calor y risas incondicionales. Mi vida cambió desde el momento que te conocí. *Those were the days...* 🎵 🎵

A todos ustedes los amo...

A Emmanuel (Mr. T) agradezco el placer de sus valiosos comentarios, críticas y sugerencias a este trabajo y muchos más, amigo mío compadre, agradezco también tantas reuniones y tantas cervezas en donde el común denominador ha sido la alegría y la verdadera amistad; sigamos luchando por pelear ese *mítico* departamento de psicología...

A todos los amigos del laboratorio, Maricruz (*¿te ayudo a pesar a tus ratas?, siempre compartiremos pellets*), Mariana (*Capitána Morgan*), Alba (*Te he cuidado bien a Mr. T*), Fernanda (*Memories...*), Guadalupe (*Yo no tomo... consejos*), Zorayda (Tú muy bien...), Fatmeh (alalalala...), Federico (*¿Te gustan los videojuegos?*) y muchos más que han hecho la estancia del laboratorio, un lugar de trabajo fenomenal. Salud a todos!!!

A Cynthia, por esa amistad inquebrantable, y por tus consejos en todo momento, incluso en la madrugada, aunque te quedes dormida...

A Guillermo, señor usted que siempre será mi *Sunshine*, lo quiero mucho!!!

A Jorge, por esas grandiosas quesadillas y pizzas de la prepa 5, además de las múltiples fracturas y luxaciones, eres la onda.

A Diego, por nuestra gran amistad y cariño. Sigo esperando mi Secretaría de Estado...

Al único y original mano, Ángel... que momentos con usted V... V...

Y como dejar de lado a todos mis demás amigos, espero no se pongan pesados si es que no incluí a alguien, de ser así la lista sería interminable... los quiero mucho también.

A mi amigo y mentor el Dr. Vladimir Orduña, gracias por permitirme trabajar a tu lado y brindarme ese valioso conocimiento que te ha destacado como un gran investigador y docente, agradezco de sobremanera tu ímpetu por el trabajo y los retos, que de alguna manera me has transmitido desde mi llegada al laboratorio. No menos importante aprecio tus comentarios y consejos en mi formación como docente.

Al Dr. Florente López, por ser una parte fundamental en mi formación académica y docente, ha sido un placer trabajar con usted, ya que el verlo día a día en su laboratorio y conocer su incansable búsqueda y transmisión del conocimiento, es una gran motivación para mí.

Al Dr. Arturo Bouzas, gracias por otorgarme valiosas horas de su preciado tiempo las cuales contribuyen activamente en el laboratorio e incluso en la vida diaria, es todo un orgullo personal poder trabajar con usted y saber que ha depositado su valiosa confianza en mí.

A la Dra. Marina Menez y al Dr. Oscar Zamora por sus sensacionales críticas, sugerencias y facilidades técnicas que hicieron posible la realización del presente trabajo.

Al Dr. Héctor Lara, por transmitirme tanto conocimiento y haberme permitido aprender *in situ* psicología.

A mi *Alma Mater*, la Universidad Nacional Autónoma de México.

Índice

Resumen.....	6
Introducción.....	7
Teorías de estimación temporal.....	8
Procedimientos experimentales para el estudio de la estimación temporal.....	13
Estimación temporal en seres humanos.....	20
Justificación del problema y objetivo.....	24
Método.....	25
Análisis de datos.....	29
Resultados.....	30
Discusión.....	38
Referencias.....	44

RESUMEN

Una de las propiedades del reloj interno que recientemente ha recibido gran atención, es el modo de operación ante pausas en el estímulo a estimar; sin embargo, debido a que no existe información sobre esta propiedad en seres humanos, en el presente trabajo abordamos este problema empleando el procedimiento de pico con interrupciones, con el objetivo de complementar la investigación del proceso de estimación temporal en seres humanos, y obtener datos que permitan la comparación entre especies del modo de operación del reloj interno. En la fase de entrenamiento se les presentó a 35 participantes con una media de 22.3 ± 3.1 años, un cuadro azul en el centro de la pantalla el cual cambiaba de color tras 10 segundos. La tarea de los participantes era estimar la duración del estímulo hasta el momento del cambio de color. En la fase de evaluación hubo 2 tipos de ensayos adicionales, ensayos pico, en los que se suprimió el cambio de color que indicaba el fin del intervalo y se les pidió a los participantes que emitieran sus respuestas cuando ellos juzgaran que el cambio se hubiera presentado, y ensayos pico con interrupciones, en los que además de lo anterior, el estímulo desapareció por un breve periodo de tiempo. Las respuestas de los participantes en estos tipos de ensayos nos permiten tener un índice de la precisión y la exactitud de su estimación temporal, así como del modo de operación del reloj ante interrupciones. Para cuantificar la estimación temporal, se ajustó una curva Gaussiana de 3 parámetros al promedio de la distribución de respuestas de cada participante en cada sesión, determinando el tiempo pico, índice de la exactitud, y la desviación estándar, índice de la variabilidad en la estimación temporal; además, en los ensayos con interrupciones se computó el cambio en el tiempo pico, que es indicativo del proceso empleado por el reloj durante las interrupciones. Se encontró que en los ensayos pico el tiempo pico fue muy cercano a la duración del estímulo, mientras que en los ensayos con interrupción, el tiempo pico se desfasó de acuerdo a la duración de la interrupción, lo cual sugiere que el reloj fue detenido durante la interrupción, conservando el tiempo previo a la interrupción en memoria.

Introducción

La estimación temporal es fundamental para muchos procesos motores y cognoscitivos. A nivel motor, los individuos coordinan temporalmente sus movimientos, para llevar a cabo acciones, por ejemplo patear una pelota ó detener su andar ante un semáforo con luz roja. Del lado cognitivo, la estimación temporal es crítica para el aprendizaje asociativo y para la representación de relaciones secuenciales entre estímulos en el ambiente, entre muchas otras actividades. Debido a que no existen receptores sensoriales explícitos para el tiempo, la información temporal posiblemente se derive a través de la operación de algunos mecanismos neuronales, cuyas propiedades están sujetas a gran controversia.

A lo largo de varios años de investigación, se ha demostrado que la estimación temporal tiene un importante papel en diversos paradigmas utilizados en psicología, por ejemplo, en el condicionamiento temporal Pavloviano, en donde el reforzamiento ocurre a intervalos fijos de tiempo; en el condicionamiento operante, por ejemplo, en los programas intervalo fijo (IF) en donde la entrega de reforzamiento depende de la emisión de una respuesta después de haber transcurrido un periodo de tiempo fijo, o bien en la discriminación temporal en donde se otorga un reforzador solamente si el sujeto emite una respuesta correcta ante una duración específica (para una revisión ver Church, 2002).

Los procesos que le permiten a un organismo ajustar su conducta a estas propiedades temporales del entorno han sido ampliamente estudiados mediante diversos procedimientos que modelan la relación entre el tiempo y el comportamiento. Killeen y Fetterman (1988) propusieron una clasificación de

estas tareas de estimación temporal en tres grupos dependiendo de esta relación: a) las tareas de estimación inmediata, en donde las respuestas de un organismo reflejan la estimación del tiempo que está transcurriendo; b) las tareas de estimación retrospectiva, en las que las respuestas de los organismos reflejan la estimación temporal de un evento que ya ha transcurrido; y c) las tareas de estimación prospectiva, en las que las respuestas de los organismos dependen de la estimación del tiempo que transcurrirá entre su conducta y la ocurrencia de un evento.

Teorías de estimación temporal

Para poder explicar el comportamiento de animales y humanos en procedimientos de estimación temporal, se han propuesto diversas teorías que tratan de dar cuenta de dicho fenómeno. Una de las principales es la Teoría de Expectancia Escalar, SET (para una revisión ver Gibbon, 1977), la cual propone un constructo que ha dominado la literatura de estimación temporal en animales y seres humanos: un dispositivo generador-acumulador de pulsos, el cual sirve como reloj ubicuo, y en conjunto con otros procesos permite al individuo discriminar entre diferentes duraciones temporales. Aunque esta teoría emerge de la literatura animal, como una explicación de las regularidades encontradas en múltiples investigaciones (Church, 1984; Gibbon, 1977, 1991), también es capaz de modelar el comportamiento de seres humanos en tareas de percepción y estimación temporal (Allan, 1998).

El modelo de procesamiento de información de SET contempla tres procesos, a) Reloj, compuesto a su vez por un generador de pulsos y por un interruptor, b) Memoria, dividido en memoria de trabajo (acumulador) y memoria de referencia, y c) Decisión, compuesto por un comparador. De acuerdo a SET, la estimación temporal comienza en el generador de pulsos, el cual emite pulsos a intervalos regulares; el interruptor, que se cierra al comienzo de un estímulo relevante, permite que los pulsos fluyan del generador de pulsos al acumulador. Una vez que el estímulo termina, el interruptor se vuelve a abrir, deteniendo así la acumulación de pulsos. La representación de los pulsos en el acumulador es transferida a la memoria de trabajo y eventualmente a la memoria de referencia, cuando el valor acumulado está relacionado a un evento relevante para el organismo, como por ejemplo la obtención de un reforzador. Cuando se realiza un juicio acerca de una duración particular los individuos enfrentan un proceso de decisión mediante el comparador, el cual usa una razón entre la representación actual alojada en la memoria de trabajo y la representación previamente codificada, que es extraída de la memoria de referencia (Allan, 1998; Church, 1984). Cuando dicha razón excede un umbral, la respuesta se ejecuta. Estos procesos se describen gráficamente en la figura 1.

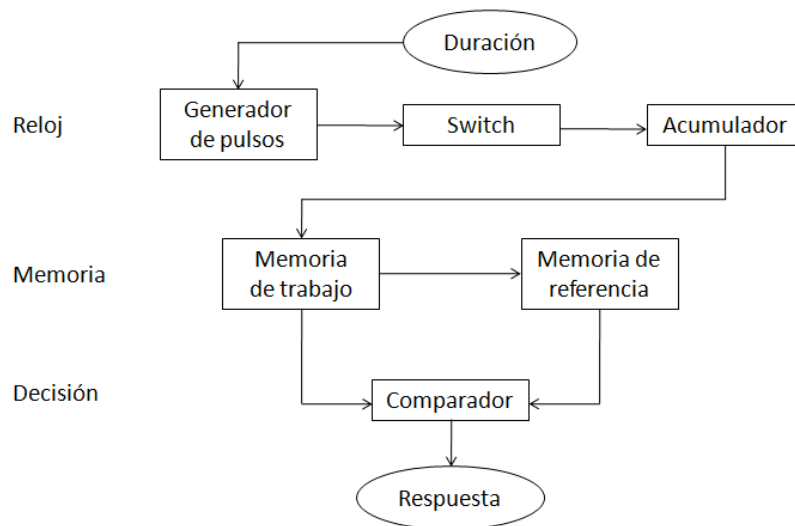


Figura 1. Modelo de procesamiento de información de SET, tomado de Gibbon y Church (1984). Sources of variance in an information processing theory of timing. In H. L. Roitblat, T. G. Bever & H. S. Terrace (Eds.), *Animal Cognition* (pp. 465-488). New Jersey: Lawrence Erlbaum, Hillsdale.

Cuando un animal o un ser humano realizan un juicio de una duración (t), tal juicio usualmente variará de ensayo a ensayo, lo que nos indica que algún(os) componente(s) en el sistema de estimación temporal produce(n) varianza. En la mayoría de los experimentos, la conducta posee la *propiedad escalar*. Esto es, conforme t varía, los juicios sobre t varían de tal manera que la desviación estándar de los mismos es una fracción constante de la media, por lo tanto el coeficiente de variación (desviación estándar/media) permanece constante no importando la duración de t . Una dificultad con el modelo de SET, en donde los procesos de reloj, memoria y decisión interactúan para determinar la conducta de estimación, es que la varianza puede estar presente en alguno o en todos los subsistemas de estos componentes, por lo que se han dedicado esfuerzos teóricos y empíricos para determinar la(s) fuente(s) de varianza.

Una fuente de varianza obvia en el proceso de reloj recientemente descrito, es la tasa de generación de pulsos, la cual usualmente se asocia con una distribución de probabilidad Poisson. Por sí mismo un emisor Poisson

produce varianza no escalar: tal varianza crece en proporción a la media, por lo que el coeficiente de variación tiende a disminuir (la estimación temporal se convierte relativamente en menos variable) conforme el intervalo a estimar incrementa. Esto representa un problema para SET porque en una gran cantidad de estudios se ha encontrado un coeficiente de variación constante. SET ha resuelto este problema mediante el planteamiento de que la tasa de emisión de pulsos es constante dentro de cada ensayo, pero variable (Poisson) de un ensayo a otro, lo cual provocaría la constancia en el coeficiente de variación encontrada empíricamente.

El generador de pulsos no es la única fuente potencial de varianza en el reloj. El switch que conecta al generador de pulsos con el acumulador también puede contribuir como una fuente de varianza en la estimación temporal. Por ejemplo, cuando el estímulo a ser estimado se presenta, el switch se cierra con una latencia variable, evidentemente cuando el estímulo desaparece, el switch se vuelve a abrir (con una latencia posiblemente diferente); por lo que la latencia de apertura/cerrado del switch puede contribuir como otra fuente de varianza.

Cuando los pulsos alojados en el acumulador son transferidos a la memoria de referencia, se genera una transformación de los pulsos que implica la multiplicación por una constante aleatoria, lo cual puede involucrar una fuente de variabilidad, y por consiguiente se induce varianza en la respuesta final. Estas fuentes de varianza han sido modeladas como una variable aleatoria multiplicativa, como la asociada al generador de pulsos (Gibbon, Church y Meck, 1984).

Finalmente, otra fuente de varianza para SET, es la varianza generada en el comparador. Si al comparar se utiliza una muestra de la distribución de umbrales, entonces el umbral variará de ensayo a ensayo, lo cual es otra fuente potencial de varianza. Además, el gradiente de respuesta resultante dependerá del empleo de una regla de decisión absoluta o relativa. Con una regla de respuesta absoluta la varianza en el umbral producirá efectos semejantes a los producidos en el interruptor (varianza aleatoria); pero con una regla de respuesta relativa, la varianza generada por el umbral se asemejaría a la producida por el generador de pulsos (escalar).

Aunque se han desarrollado propuestas teóricas alternativas como la Teoría Conductual de Estimación Temporal, BET, por sus siglas en inglés (Killeen y Fetterman, 1988) o el modelo learning-to-time, LeT de Machado (1997) entre otros, en el presente trabajo se aborda con mayor detalle el modelo SET debido a que es la teoría de estimación temporal predominante en dicha área. Esta predominancia se refleja en que la teoría no se ha limitado al modelamiento matemático de algunas propiedades de los procesos cognitivos que operan cuando un individuo estima una duración temporal, sino que ha brindado un marco conceptual y experimental para el desarrollo de modelos cuantitativos de estimación temporal, los cuales han demostrado su utilidad para especificar los mecanismos cognitivos (Church, 2003) y neurofisiológicos/neuroanatómicos (para una revisión ver Meck, 1996) que están involucrados en el procesamiento temporal.

Procedimientos experimentales para el estudio de la estimación temporal

Existen diferentes procedimientos que han sido utilizados para estudiar el proceso de estimación temporal, entre ellos se incluyen los programas intervalo fijo (Ferster y Skinner, 1957), procedimiento pico (Catania, 1970), pico con interrupciones (S. Roberts y Church, 1978), bisección temporal (Church y Deluty, 1977), reforzamiento diferencial de tasas bajas (Ferster y Skinner, 1957), entre otros. De los anteriores, los programas de reforzamiento intervalo fijo son, quizá, la demostración más simple de estimación temporal en animales. En este tipo de programas, la primera respuesta que se emita tras haber transcurrido un periodo fijo de tiempo es reforzada y las respuestas previas a este periodo no tienen efecto; una vez que el reforzamiento es entregado, el ciclo inicia de nuevo.

Este procedimiento típicamente produce un festón, un patrón de respuesta caracterizado por una tasa de respuesta baja la cual incrementa gradualmente conforme el tiempo de reforzamiento se alcanza, cuando encuentra su punto máximo. Este patrón tiene amplia generalidad, ya que se ha encontrado en múltiples especies, por ejemplo, seres humanos (Muller, Crow y Cheney, 1979), ratas (Gibbon, 1977), palomas (Shull, 1970), peces (Talton, Higa y Staddon, 1999), abejas (Boisvert y Sherry, 2006). Incluso se ha encontrado este mismo patrón en intervalos de tiempo de hasta 36 horas (Eckerman, 1999).

De acuerdo a SET, el desempeño en los programas intervalo fijo es un indicador del proceso de estimación temporal. La manera más simple para analizar el proceso de estimación temporal en un programa intervalo fijo, consiste en examinar la distribución de respuestas a través del tiempo, el cual es dividido en intervalos de tiempo iguales (por ejemplo de 1 segundo). Durante la

sesión, las respuestas acumuladas en cada intervalo (*bin*) sucesivo se pueden graficar y obtener datos específicos (número de respuestas, tasa de respuesta) para cada segundo del intervalo fijo. Este ordenamiento es ampliamente usado para el análisis de la estimación temporal (Balsam, Drew y Gallistel, 2010; Buhusi y Meck, 2007; Morrissey, Wogar, Bradshaw y Szabadi, 2000). Este análisis es conocido como ordenamiento de bins.

A pesar de que el análisis de la ejecución en programas intervalo fijo es una manera sencilla de evaluar estimación temporal, solo nos permite cuantificar la conducta del sujeto hasta el final del intervalo a estimar, pues una vez que se ha obtenido el reforzador, no se genera información adicional sobre la conducta de estimación temporal. Para resolver este problema, Catania (1970) desarrolló el procedimiento de pico, el cual a partir de entonces ha sido extensamente empleado (Balsam, et al., 2010; Cabeza de Vaca, Brown y Hemmes, 1994; Morrissey, et al., 2000; S. Roberts, 1981). Este procedimiento consiste en la combinación de dos tipos de ensayos, aquéllos idénticos a los presentados en los programas intervalo fijo (ensayos intervalo fijo) y otros ensayos sin reforzamiento (ensayos pico) que además se distinguen por una mayor duración, la cual suele ser por lo menos tres veces mayor al valor del programa intervalo fijo en curso. La figura 2 ejemplifica una serie de ensayos representativa de este procedimiento; el intervalo entre ensayos (IEE) de manera general tiene un valor aleatorio. Es importante recalcar la importancia de la proporción de ensayos pico contenidos en una sesión de pico, ya que un ensayo pico equivale a extinción de los ensayos intervalo fijo, radicando aquí la importancia de su correcta distribución tanto en localización como en número (Kaiser, 2008).

El resultado principal en este procedimiento es que la distribución temporal de respuestas en los ensayos pico tiene la forma de una curva normal, con un máximo cercano al valor del intervalo fijo de los ensayos reforzados. Una forma ampliamente usada para realizar el análisis de los datos de los ensayos pico, consiste en el ordenamiento de bins descrito anteriormente, y posteriormente en el ajuste de un modelo de distribución de probabilidad Gaussiana que permite la obtención de parámetros relacionados con la forma de la distribución de respuestas y que presumiblemente representan al proceso de estimación temporal (S. Roberts, 1981). El tiempo pico indica el tiempo en que se encuentra el máximo número de respuestas, siendo una medición absoluta de control temporal. La tasa pico indica el máximo de respuestas en la distribución, y la desviación estándar corresponde a la dispersión de la distribución de respuestas siendo una medición de la precisión de la estimación temporal. Otro índice derivado de los parámetros anteriores es la fracción de Weber, la cual es considerada un índice de precisión relativa de la estimación y se computa dividiendo la desviación estándar entre el tiempo pico.

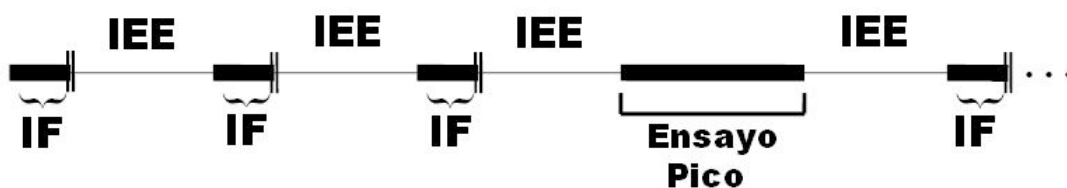


Figura 2. Secuencia ilustrativa del procedimiento pico.

Mediante este procedimiento se han obtenido resultados compatibles con SET, por ejemplo, dependiendo de la duración de intervalo fijo entrenado el tiempo pico se incrementa linealmente en función al valor del intervalo fijo;

estimación temporal proporcional (S. Roberts, 1981; W. A. Roberts, Cheng y Cohen, 1989). La desviación estándar del tiempo pico también incrementa linealmente en función del valor del intervalo fijo (propiedad escalar), el coeficiente de variación del tiempo pico permanece aproximadamente constante (Ley de Weber) y la gráfica de la tasa de respuesta relativa en función del tiempo relativo genera superposición de las funciones (invarianza de la escala temporal). Dadas las regularidades de los hallazgos antes mencionados encontrados en ratas (S. Roberts, 1981; W. A. Roberts, et al., 1989), palomas (Grace y Nevin, 1999), e incluso en seres humanos (Hinton y Rao, 2004; Rakitin, et al., 1998), parece apropiado utilizar la ejecución en el procedimiento pico como un criterio de normalidad, y así ayudar en el diagnóstico de psicopatologías relacionadas con la estimación temporal, ya que la generalidad del procedimiento permite la extrapolación de los hallazgos a escenarios clínicos (Levin, et al., 1996). El procedimiento pico además ha permitido la integración de una perspectiva neurofarmacológica que ha tenido como resultado la aproximación al sustrato material de la conducta de estimación temporal, ya que ha generado investigación en base a manipulaciones farmacológicas las cuales han sido interpretadas desde la perspectiva de SET y en concreto del modelo neurofarmacológico de (Meck, 1996); dentro de ellas se han delineado los sistemas de neurotransmisión que determinan el desempeño de los animales en tareas de estimación temporal.

A pesar de que el procedimiento de pico ha sido una herramienta importante en la evaluación de la habilidad de los animales y humanos para estimar intervalos de tiempo, existe una pregunta de investigación de gran valor teórico, que no puede ser respondida por el procedimiento pico: El efecto de

una interrupción sobre el estímulo a estimar. La respuesta a esta interrogante es teóricamente relevante porque podemos hipotetizar por lo menos tres diferentes estrategias ante una interrupción: detención, re-inicialización y continuación de la estimación. Con el objetivo de encontrar las variables determinantes del empleo de una u otra de las estrategias, surgió el procedimiento pico con interrupciones (S. Roberts, 1981; S. Roberts y Church, 1978; W. A. Roberts, et al., 1989) el cual agrega al procedimiento de pico un tipo de ensayo adicional, llamado ensayo con interrupción. Estos ensayos son similares a los ensayos pico pero el estímulo a estimar es apagado por un breve periodo de tiempo y reencendido de nuevo. Al igual que en los ensayos pico, en los ensayos con interrupción no existe reforzamiento. El objetivo principal del procedimiento pico con interrupciones es cuantificar si existe un cambio en el tiempo pico debido a la interrupción del estímulo a estimar (Buhusi y Meck, 2000; S. Roberts, 1981; S. Roberts y Church, 1978), por lo que se examina que hacen los sujetos en los ensayos en que hay una interrupción en el estímulo a ser estimado. Existen tres posibles resultados: en el primer escenario, se retendría la duración del intervalo previa a la interrupción, y por lo tanto al final de la interrupción se continúa la estimación del intervalo hasta completar el tiempo criterio; en el segundo escenario la estimación del intervalo comenzaría de nuevo al final de la interrupción. Estos posibles resultados presumiblemente implican al modo de operación del reloj interno (S. Roberts, 1981), detención y re-inicialización, respectivamente. Finalmente en el último escenario posible, el efecto de la interrupción en el estímulo no genera un desfase en el tiempo pico, lo cual nos podría indicar que el sujeto continuó su estimación temporal durante la interrupción.

Para evaluar las propiedades anteriores, se debe determinar el tiempo pico en los ensayos con interrupciones y compararlo con el de los ensayos pico sin interrupciones. Al igual que en los ensayos pico se lleva a cabo el ordenamiento de bins y el ajuste de un modelo de distribución de probabilidad Gaussiana. Específicamente si el tiempo pico cambia en igual magnitud a la duración de la interrupción, se puede inferir que la estrategia fue detención, pero si el tiempo pico se desfasa la duración de la interrupción más la duración del intervalo previo a la misma, entonces puede inferirse el empleo de la estrategia de re-inicialización. Una tercera posibilidad es que el tiempo no varíe entre los dos tipos de ensayo, lo cual podría indicarnos un efecto nulo de la interrupción sobre el reloj interno. Un hallazgo empírico destacable es que el cambio en el tiempo pico, en general, se localiza entre detención y re-inicialización.

Las dos principales explicaciones acerca de la aparición de uno u otro modo de operación del reloj son las hipótesis de Ambigüedad Instruccional y la de Decaimiento de Memoria. La primera de ellas asume que en el transcurso del entrenamiento en un procedimiento de pico típico, los animales han sido entrenados a re-inicializar el reloj al final de los ensayos, el cual es indicado por la entrega del reforzador y/o la presentación del Intervalo entre ensayos. Debido a este entrenamiento, cuando las interrupciones en el estímulo cuya duración se estima son iguales a los intervalos entre ensayos, los animales harán lo que han sido entrenados a hacer, es decir, re-inicializar su estimación temporal; esta teoría implica que si las interrupciones son notablemente diferentes a los intervalos entre ensayos los animales no re-inicializarán. Por lo tanto esta hipótesis predice que las manipulaciones que hacen ver a la interrupción

semejante al IEE, generan en los sujetos una re-inicialización de su reloj; de manera opuesta, manipulaciones en la interrupción que la hacen distinta al IEE, dan como resultado que los sujetos detengan su estimación temporal y sea reanudada tras la interrupción (Kaiser, Zentall y Neiman, 2002).

Otra posible explicación de los datos derivados del procedimiento pico con interrupciones es la hipótesis de Decaimiento de Memoria, sugerida por Cabeza de Vaca et al. (1994), con base en el hallazgo de que entre más larga es la interrupción, mayor es el desplazamiento en el tiempo pico. Esto es compatible con la idea de que el tiempo subjetivo almacenado en la memoria de trabajo decae pasivamente durante la interrupción, dando lugar a un decaimiento mínimo para interrupciones cortas, y a un decaimiento mayor cuando la interrupción incrementa su duración. Es decir, a medida que la duración de la interrupción aumenta, el modo de operación aparentemente cambia de detención a re-inicialización, por lo que este modelo nos explica los aparentes cambios en el modo de operación del reloj interno ante diferentes duraciones en la interrupción.

Cabe señalar que se han encontrado diversas variables que modifican la tendencia hacia el empleo de una u otra estrategia; algunas de estas variables son la especie: en general, las ratas tienden a detener durante la interrupción (S. Roberts, 1981), mientras que las palomas tienden a re-inicializar (W. A. Roberts, et al., 1989). La cepa a la cual pertenecen los animales también influye, por ejemplo las ratas albinas tienden a detener durante una interrupción, mientras que las ratas pigmentadas exhiben una tendencia opuesta, re-inician (Buhusi, Perera y Meck, 2005); otra variable relevante es la modalidad sensorial del estímulo a ser estimado, las ratas albinas tienden a detener con

estímulos visuales y re-inicializar con estímulos auditivos. Incluso la intensidad del brillo del estímulo puede modificar la tendencia ya que las ratas pigmentadas tienden a detener con intensidades bajas en contraparte a una clara tendencia de re-inicialización cuando la intensidad de la señal es alta.

Estimación temporal en seres humanos

Una importante línea de investigación ha tenido como objetivo evaluar la generalidad de SET en seres humanos (Hinton y Rao, 2004; Rakitin, et al., 1998; Wearden, 1991 ; Wearden, Rogers y Thomas, 1997); con tal fin, se han utilizado procedimientos psicofísicos tradicionales adaptados para evaluar duración. Además, siguiendo la tradición psicofísica en animales, se han desarrollado sofisticados procedimientos para el estudio de la estimación temporal, por ejemplo generalización y bisección temporal. Cabe mencionar que para evitar conteo en tales procedimientos, los rangos utilizados en seres humanos son milisegundos, los cuales son mucho menores a los utilizados comúnmente en animales (rango de segundos a horas). Para asegurar que las diferencias en los resultados de seres humanos y animales no se deben al rango utilizado, también se han utilizado duraciones mayores en investigación con seres humanos, controlando adecuadamente el conteo en cada una de las tareas. De manera general no se han encontrado diferencias representativas en las propiedades esenciales de la estimación temporal.

Durante el procedimiento de pico, los participantes reciben ensayos de entrenamiento, durante los cuales se les presenta un estímulo objetivo con un criterio específico de duración (por ejemplo 10 segundos). En los ensayos de prueba o ensayos pico, se les pide a los participantes que reproduzcan el

intervalo criterio (figura 3a); en estos ensayos las respuestas se distribuyen de manera normal alrededor del intervalo criterio, con una amplitud que es proporcional a la duración del mismo. Cuando la distribución de respuestas es reescalada en términos relativos al tiempo y la tasa máxima de respuestas, se observa que las gráficas se superponen, demostrando así la propiedad escalar, lo cual se observa en la figura 3b (Buhusi y Meck, 2005).

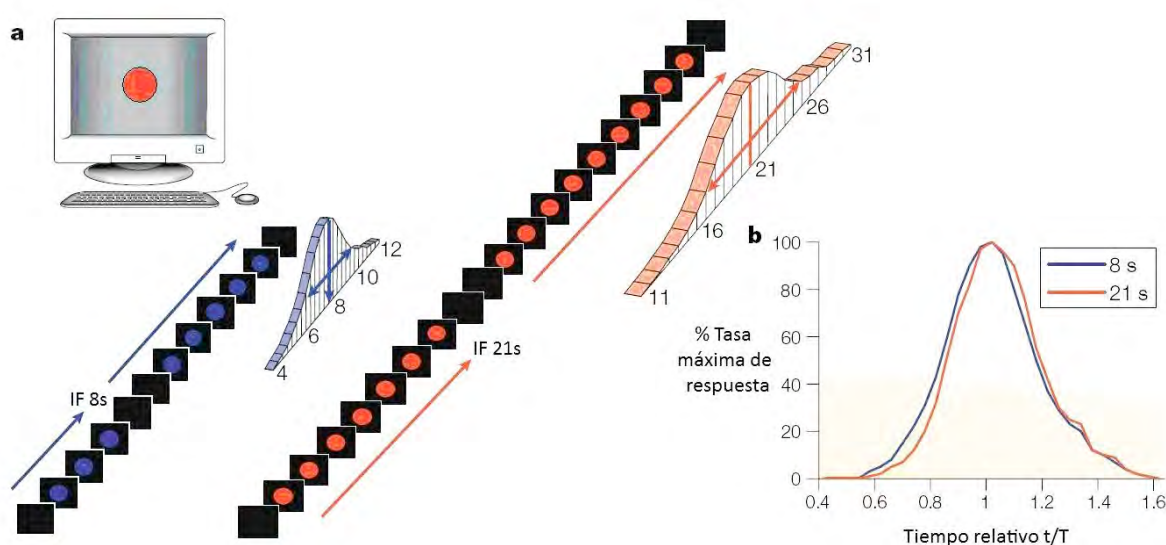


Figura 3. a) Procedimiento intervalo pico en seres humanos con 2 intervalos criterio. b) Superposición de respuestas en términos relativos de 2 intervalos, 8s y 21s Tomado de Buhusi y Meck (2005). What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(10), 755- 765.

Durante los últimos años SET ha ganado importancia en la literatura de estimación temporal, debido a su capacidad explicativa sobre el desempeño de seres humanos en un gran número de tareas desarrolladas como análogas a aquellas utilizadas en la investigación animal. Para evaluar el efecto de una interrupción en el estímulo a estimar con participantes humanos, lo cual no ha sido abordado en la literatura, se propone en el presente trabajo la utilización del procedimiento pico con interrupciones. Este novedoso procedimiento

combina al procedimiento pico con interrupciones utilizado en animales (Cabeza de Vaca, et al., 1994; S. Roberts, 1981) con la versión computarizada del procedimiento de pico utilizada en seres humanos (Hinton y Rao, 2004; Rakitin, et al., 1998). Tomando como antecedente los hallazgos en el modo de operación del reloj interno en el procedimiento de pico con interrupciones de la investigación animal, surge la interrogante del desempeño de los humanos ante el mismo paradigma, puesto que en investigación con seres humanos no se ha abordado propiamente dicho problema.

A pesar de que en algunos estudios se han presentado interrupciones sobre el estímulo a estimar (Fortin, et al., 2009 ; Fortin y Massé, 2000), el énfasis de dichos estudios no se ha centrado en los modos de operación del reloj interno, sino en el efecto de la expectativa de la interrupción sobre el tiempo pico reproducido. En específico, Fortin y Massé (2000) pidieron a los participantes que la estrategia a utilizar fuera detención, eliminando de sus posibilidades la estrategia de re-inicialización sobre la estimación del intervalo temporal. A diferencia de estos estudios, nuestra versión del procedimiento pico con interrupciones esta explícitamente diseñada para evaluar los modos de operación del reloj interno. Basándonos mayoritariamente en el procedimiento reportado por Rakitin, et al., (1998), en la primera fase se les presentó a los participantes una serie de ensayos en donde el estímulo a estimar aparecía en el centro de la pantalla durante determinado tiempo (p. ej. 10 segundos); el final del intervalo a estimar estaba marcado por un cambio de color en el estímulo. En la segunda fase del procedimiento el cambio del color fue eliminado, y la tarea de los participantes era emitir por lo menos cinco respuestas en el momento en que esperaban el cambio de color. Posteriormente, en las

siguientes sesiones, en algunos ensayos pico se implementaron interrupciones que variaban tanto en ubicación (tempranas y tardías), como en duración (cortas y largas, ver Figura 4). Estas interrupciones estuvieron basadas en el procedimiento empleado en el experimento 1 de Cabeza de Vaca, et al., (1994).

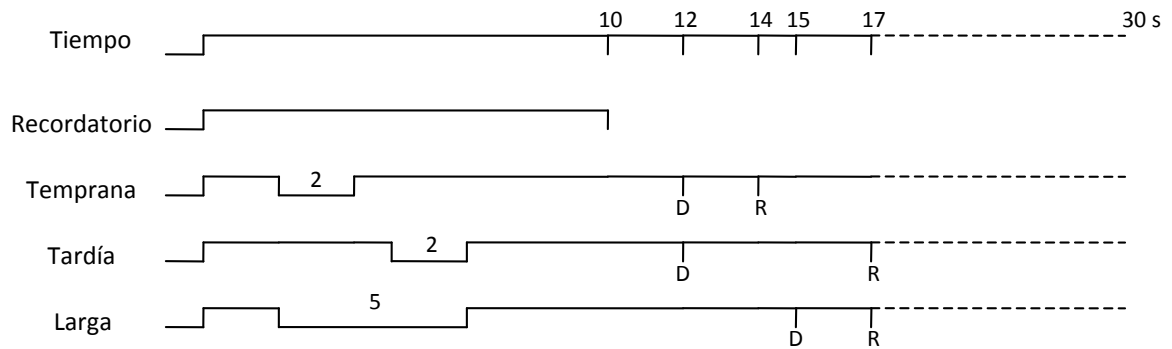


Figura 4. Diagrama que muestra la ubicación y la duración de las interrupciones presentadas en el procedimiento pico con interrupciones en seres humanos, se muestran también las predicciones temporales hacia los dos modos de operación del reloj interno, detención (D) y re-inicialización (R). Adaptado del diagrama de Cabeza de Vaca, et al., (1994).

JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA Y OBJETIVO

La revisión presentada deja claro que el modo de operación del reloj interno está en función de una diversidad de variables; sin embargo ante la nula investigación en seres humanos sobre los efectos de la presencia, duración (corta/larga) y localización (temprana/tardía) de una interrupción en el estímulo a estimar, se pretende evaluar los efectos de las mismas en la estimación temporal en seres humanos. Se espera que de acuerdo a la hipótesis de ambigüedad instruccional los participantes muestren una tendencia hacia una estrategia de detención, ya que el intervalo entre ensayos es totalmente distinto a la interrupción del estímulo; por otro lado la hipótesis de decaimiento de memoria generaría una predicción similar, ya que la duración de la interrupción no es lo suficientemente larga como para que haya un decaimiento de memoria del estímulo previo a la interrupción. Adicionalmente un objetivo metodológico es realizar un primer acercamiento a este tema con participantes humanos. De realizar una correcta implementación del procedimiento, los resultados pueden ayudar a incrementar la generalidad de lo reportado en la literatura animal.

MÉTODO

Participantes

35 estudiantes (11 hombres y 24 mujeres) de licenciatura de semestres iniciales (segundo a cuarto semestre) de diversas carreras de la Universidad Nacional Autónoma de México, con edades entre 18 y 25 años (22.3 ± 3.1 años). Todos los participantes tenían vista normal o corregida. Dichos participantes asistieron voluntariamente por puntos extra en sus materias.

Aparatos

10 computadoras con procesador Pentium 4® y Sistema operativo Windows XP®, con resolución en monitor de 1280*1024 pixeles, ratón y teclado.

Procedimiento

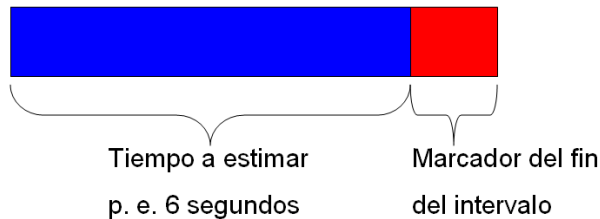
Cada participante se asignó a la misma computadora, para las cuatro sesiones experimentales. Cada sesión tuvo una duración aproximada de 45 minutos cada una. En el monitor aparecieron las instrucciones para la tarea experimental (ver figura 5). Una vez que los participantes completaron la lectura de las instrucciones en la pantalla, en caso de tener alguna duda recibieron instrucciones verbales adicionales, las cuales tenían como fin dejar claro el objetivo de la tarea; al expresar la comprensión del objetivo de la tarea, iniciaron cada sesión dando click sobre el icono “**Iniciar**” ubicado en la parte inferior de la pantalla.

Instrucciones

A continuación se te presentará una serie de estímulos a los cuales deberás prestar mucha atención.

Tu objetivo es **CALCULAR** la duración del cuadro azul.

Pon mucha atención a este cuadro azul, ya que al final del tiempo a calcular el color del cuadro cambiará a rojo.



A continuación se te presentará una serie de estímulos de recordatorio semejantes a los de la fase anterior, en los cuales el final del intervalo a **CALCULAR** se representaba por el cambio de color del cuadro de azul a rojo.

Habrà **3 tipos** de ensayos en el experimento. **a)** Ensayos de recordatorio en los cuales te indicaremos que solo deberás prestar atención a su duración. **b)** En algunos ensayos el cuadro no cambiará de color nos interesa que emitas por lo menos 5 respuestas con la tecla **ESPACIO** en el



momento que esperes que el cuadro hubiera cambiado de color. **c)** En otros ensayos el cuadro azul desaparecerá por algún tiempo, nos interesa que emitas por lo menos 5 respuestas con la tecla **ESPACIO** en el momento que esperes que el cuadro hubiera cambiado de color.

Para iniciar y terminar cada ensayo deberás oprimir la tecla **"ENTER"**.



Figura 5. En la parte superior se presentan las instrucciones para la fase de entrenamiento; en la parte inferior se observan las presentadas para las sesiones 1-4.

Entrenamiento

Consistió en 20 ensayos en los cuales en el centro del monitor aparecía un cuadro azul (100*100 píxeles) en un fondo gris claro; dentro de dicho cuadro azul aparecían dígitos con una duración de 0.5 segundos y con un intervalo entre estímulos variable con una media de 1.5 segundos. Los dígitos distractores se emplearon con el fin de que los participantes no contaran. El cuadro azul en el centro de la pantalla indicaba el tiempo a estimar (10 segundos) y su cambio a color rojo al final del intervalo, indicaba al participante el fin del mismo, este nuevo color permanecía durante 2 segundos; este tipo de ensayos equivaldría a los ensayos intervalo fijo, en un procedimiento común en animales, ya que en nuestra versión computarizada los ensayos de recordatorio al indicar el final del intervalo a estimar generan información acerca de su duración. En el procedimiento con animales el reforzador entregado en los ensayos intervalo fijo indicaría dicha información. Posteriormente se presentaron 10 ensayos pico en los cuales debían emitir por lo menos 5 respuestas en el momento en que juzgaran que el cambio del color ocurriría. Estos ensayos pico de entrenamiento tenían el objetivo de familiarizar al participante con la tarea y disipar dudas acerca de la misma.

Sesión 1. Después de terminar el entrenamiento daba inicio esta sesión. La tarea experimental consistió en 80 ensayos totales. Los 10 primeros ensayos fueron ensayos iguales a los presentados en el entrenamiento. Los 70 ensayos restantes estaban distribuidos semi-aleatoriamente; 10 ensayos eran iguales a los presentados en el entrenamiento, los cuales tenían la restricción de aparecer por lo menos al quinto ensayo pico. Los 60 ensayos restantes fueron ensayos

pico, que iniciaban a partir de que el cuadro aparecía en la pantalla. La particularidad de estos ensayos radicaba en la supresión del cambio a color rojo transcurrido el intervalo a estimar. En estos ensayos el participante debía emitir sus respuestas lo más cercanas a la duración del intervalo a estimar. Las respuestas se emitían con el teclado (*Espacio*), mientras que para finalizar cada ensayo el sujeto debía oprimir la tecla *Enter*, lo que daba inicio a un IEE variable de 10 segundos en promedio. En el momento que este intervalo entre ensayos terminaba, se habilitaba en la pantalla la posibilidad de oprimir la tecla *Enter* para comenzar un nuevo ensayo. En caso de no registrarse por lo menos 5 respuestas en un periodo de 40 segundos el ensayo se repetía.

Sesiones 2-4. Estas sesiones constaron de 80 ensayos. Los 10 primeros ensayos de la sesión fueron ensayos iguales a los presentados en el entrenamiento, de los 60 ensayos pico restantes, 30 ensayos pico fueron sustituidos por ensayos pico con interrupciones. En este tipo de ensayos el estímulo a estimar desapareció por un breve periodo de tiempo (duración de la interrupción), para después volver a aparecer. De estos 30 ensayos, en 10 ensayos la interrupción fue temprana (duró 2 segundos y comenzó a los 2 segundos de iniciado el ensayo), en 10 ensayos la interrupción fue tardía (duró 2 segundos, comenzando a los 5 segundos) y en 10 ensayos la interrupción fue larga (duró 5 segundos y se inició a los 2 segundos transcurrido el ensayo). En cada sesión se presentaron de manera semi-aleatoria 10 ensayos de recordatorio (Tiempo fijo), iguales a los del entrenamiento e indicados desde el inicio del ensayo.

Análisis de datos

Los datos fueron evaluados por medio del ajuste de funciones. Los datos se ordenaron en bins en donde se examinó la distribución de respuestas a través de un periodo de tiempo. Para todos los tipos de ensayo, se generaron 120 *bines* de 0.25 segundos equivalentes a 30 segundos por ensayo. Se registró en que periodo ocurrió cada una de las respuestas para poder generar la distribución de frecuencia de respuestas por período en cada sesión. Posteriormente se transformó la frecuencia a tasa de respuestas por minuto, para que finalmente a cada distribución de cada participante se le ajustara la siguiente ecuación:

$$y = y_0 + ae^{\left[-0.5\left(\frac{x-x_0}{b}\right)^2\right]} \quad (1)$$

En la que a representa la tasa pico, b la desviación estándar y x_0 el tiempo pico; finalmente la fracción de Weber se calculó dividiendo la desviación estándar entre el tiempo pico. El valor de estos parámetros fue analizado por medio de un ANOVA de medidas repetidas, con ***Tipo de Ensayo (pico, interrupción temprana, tardía y larga)*** y ***Sesión (2-4)*** como factores intrasujeto. La significancia de todos los análisis fue alfa menor a 0.05.

RESULTADOS

La estimación temporal se evaluó al analizar los parámetros obtenidos del ajuste de la ecuación 1 a los datos de cada participante, en cada tipo de ensayo en cada sesión. En la Tabla 1 se muestra el valor promedio y el error estándar de cada parámetro analizado.

Sesión	Tipo de ensayo	Tiempo Pico	Desviación estándar	Fracción de Weber	Tasa Pico/min	R ²
1	Pico	10.353 ± 0.112	0.820 ± 0.055	0.07905 ± 0.00510	296.585 ± 15.053	0.988
2	Pico	10.632 ± 0.134	0.859 ± 0.065	0.07962 ± 0.00530	286.763 ± 17.388	0.971
	Interrupción Temprana	12.867 ± 0.1196	0.774 ± 0.059	0.06017 ± 0.00468	317.281 ± 20.533	0.953
	Interrupción Tardía	12.901 ± 0.104	0.754 ± 0.058	0.05808 ± 0.00413	312.738 ± 14.954	0.935
	Interrupción Larga	15.891 ± 0.123	0.714 ± 0.051	0.04492 ± 0.00318	331.052 ± 16.457	0.944
3	Pico	10.613 ± 0.164	0.872 ± 0.053	0.07776 ± 0.00548	309.363 ± 21.357	0.973
	Interrupción Temprana	12.955 ± 0.158	0.783 ± 0.075	0.05967 ± 0.00525	323.983 ± 16.812	0.937
	Interrupción Tardía	12.855 ± 0.136	0.730 ± 0.077	0.05735 ± 0.00651	348.071 ± 18.761	0.948
	Interrupción Larga	16.001 ± 0.145	0.737 ± 0.075	0.04527 ± 0.00410	336.529 ± 20.882	0.960
4	Pico	10.209 ± 0.106	0.716 ± 0.051	0.07021 ± 0.00506	331.168 ± 17.321	0.983
	Interrupción Temprana	12.483 ± 0.124	0.666 ± 0.055	0.05414 ± 0.00501	347.107 ± 18.664	0.960
	Interrupción Tardía	12.461 ± 0.094	0.643 ± 0.060	0.05181 ± 0.00535	379.202 ± 20.263	0.965
	Interrupción Larga	15.644 ± 0.205	0.676 ± 0.061	0.04406 ± 0.00426	353.758 ± 16.598	0.968

Tabla 1. Resumen descriptivo de los valores de los parámetros de la Ecuación 1, media más menos error estándar.

Para poder tener una referencia específica de la distribución del tiempo pico y la R², se realizó un análisis de cajas, el cual se muestra en la figura 6.

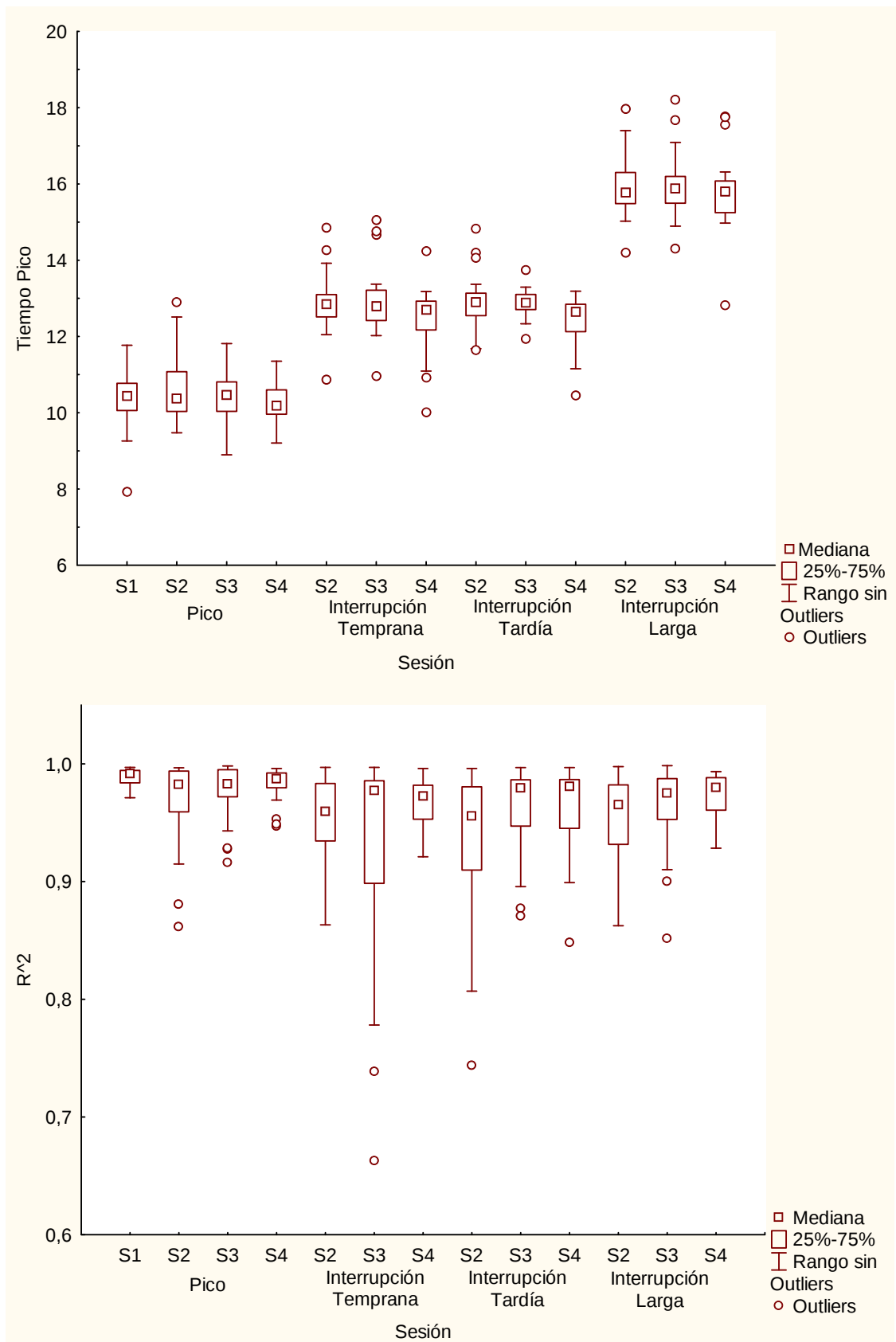


Figura 6. En la parte superior se observa el análisis de cajas que ilustra la distribución de tiempos pico, en la parte inferior la distribución de los ajustes R^2 . Para cada panel se muestran cada tipo de ensayo y todas las sesiones evaluadas.

El promedio de las funciones de pico de todos los participantes en cada una de las condiciones evaluadas y su correspondiente ajuste gaussiano se muestran en la Figura 7. Las funciones muestran un patrón de incremento súbito en la densidad de respuesta cercana a la duración del intervalo a estimar (10 segundos), seguido por un decremento simétrico hasta una tasa de respuesta cercana a cero. De manera general se observa una distribución de respuestas normal (con un ajuste promedio $R^2 > 0.95$) con una baja dispersión.

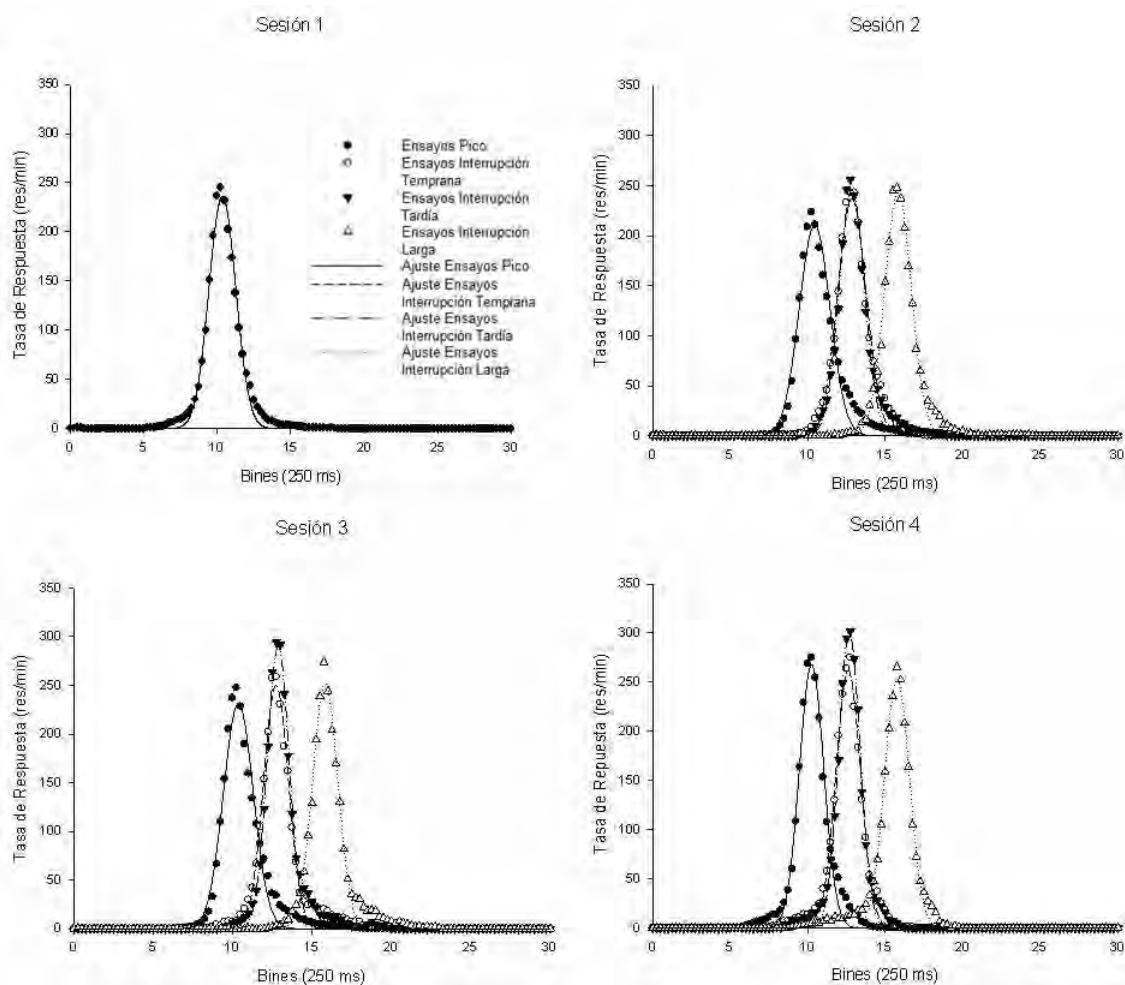


Figura 7. Promedio de la tasa absoluta de respuesta de las 4 sesiones experimentales, se muestran los ensayos pico (círculos cerrados), interrupción temprana (círculos abiertos), interrupción tardía (triángulos cerrados) e interrupción larga (triángulos abiertos), así como su respectivo ajuste.

Se procedió a evaluar si existían diferencias estadísticamente significativas en los diversos parámetros de los que se compone la ecuación 1, por medio de un ANOVA de medidas repetidas con Tipo de Ensayo y Sesión como factores intrasujeto.

Al analizar las diferencias en el tiempo pico con el factor tipo de ensayo, se obtuvo una $F(3,102)=1243.6$, $p<0.05$. Por medio de la prueba de Scheffé se encontró un incremento significativo en los ensayos con interrupciones tempranas, tardías y largas ($p<0.05$), respecto a los ensayos pico sin interrupción. No hubo diferencia en el tiempo pico para los ensayos en donde las interrupciones fueron tempranas y tardías. Al evaluar el tiempo pico con el factor sesión, se obtuvo una $F(2,68)=10.491$, $p<0.05$, encontrando una disminución significativa solo entre la sesión 2 y la sesión 4, por medio de la prueba de Scheffé.

Se analizaron las diferencias en la desviación estándar en los distintos tipos de ensayos. Se obtuvo una $F(3,102)=7.9335$, $p<0.05$, encontrando decrementos significativos entre los ensayos pico y los ensayos interrupción tardía y larga por medio de la prueba de Scheffé. Analizando el otro factor (sesión) se obtiene una $F(2,68)=3.9268$, $p<0.05$; mediante la prueba de **Tukey** se encontró una disminución significativa entre la sesión 2 y 4.

Con lo que respecta a la evaluación de la tasa pico con el factor tipo de ensayo se obtuvo una $F(3,102)=12.78$, $p<0.05$. Mediante la prueba de Scheffé, se encontraron incrementos significativos entre los ensayos pico y cada uno de los ensayos con interrupciones. Para el análisis del factor sesión se asocia una $F(2,68)=4.71$, $p<0.05$ encontrando de igual manera un incremento significativo entre la Sesión 2 y la Sesión 4 en el análisis Post-Hoc (prueba de Scheffé). Dado que la

tasa de respuestas por minuto tuvo cambios significativos a lo largo de las sesiones y en conjunción con el decremento significativo del tiempo pico, se observa que los participantes emitieron más respuestas en el momento adecuado, conforme las sesiones avanzaron.

Dadas estas diferencias en la tasa pico se procedió a normalizar los datos, obteniendo la tasa de respuesta relativa siendo una proporción de la tasa de respuesta máxima (Figura 8). De esta manera es más evidente la semejanza en el patrón de respuestas de los participantes a lo largo de todas las condiciones experimentales.

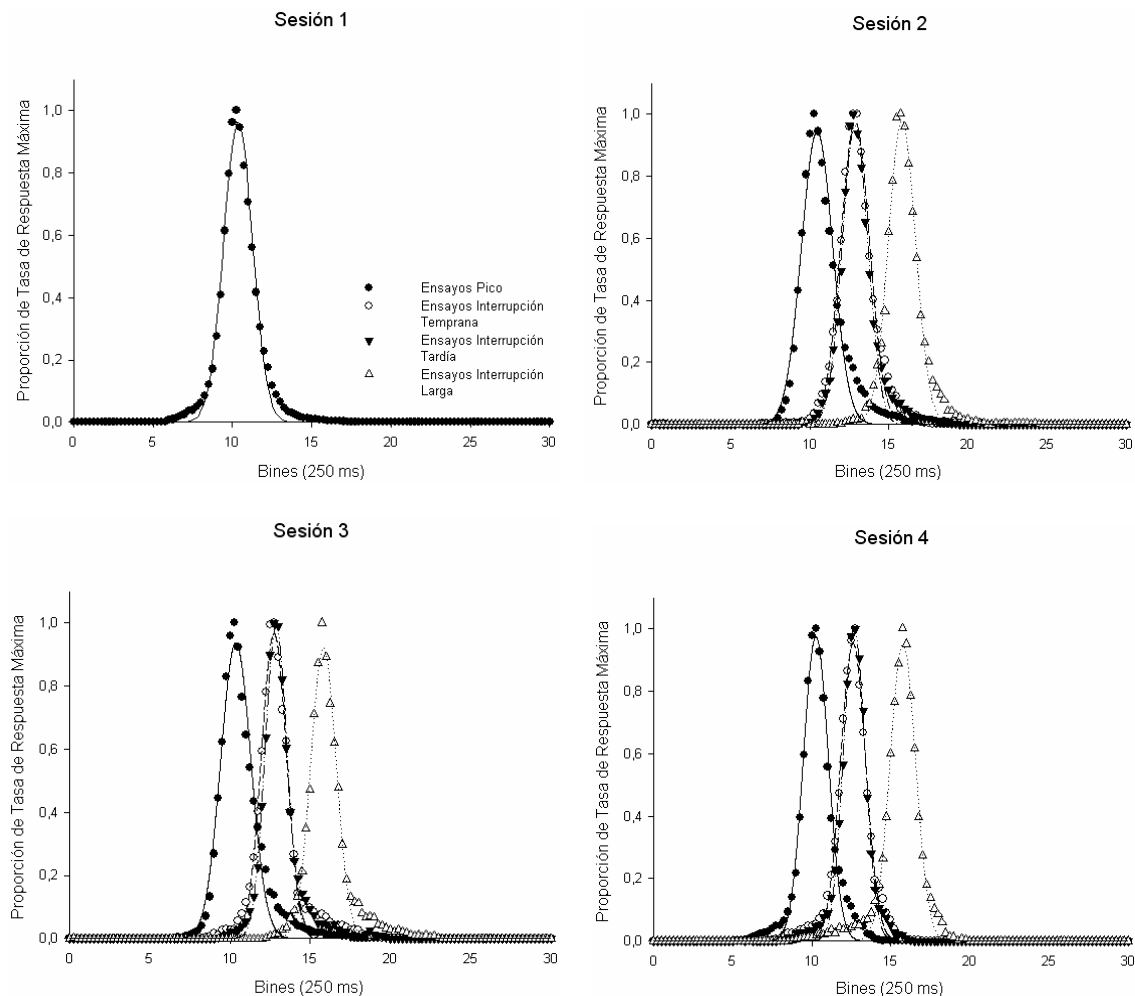


Figura 8. Promedio de la tasa relativa de respuesta de las 4 sesiones experimentales, se muestran los ensayos pico (círculos cerrados), interrupción temprana (círculos abiertos), interrupción tardía (triángulos cerrados) e interrupción larga (triángulos abiertos), así como su respectivo ajuste a cada uno de los distintos tipos de ensayos.

La Figura 9 muestra la tasa relativa de respuestas en función del tiempo relativo de los diferentes tipos de ensayo en las 4 sesiones; la superposición mostrada por los datos es buena, indicándonos que el patrón de respuesta relativo en los distintos tipos de ensayos no fue distinto.

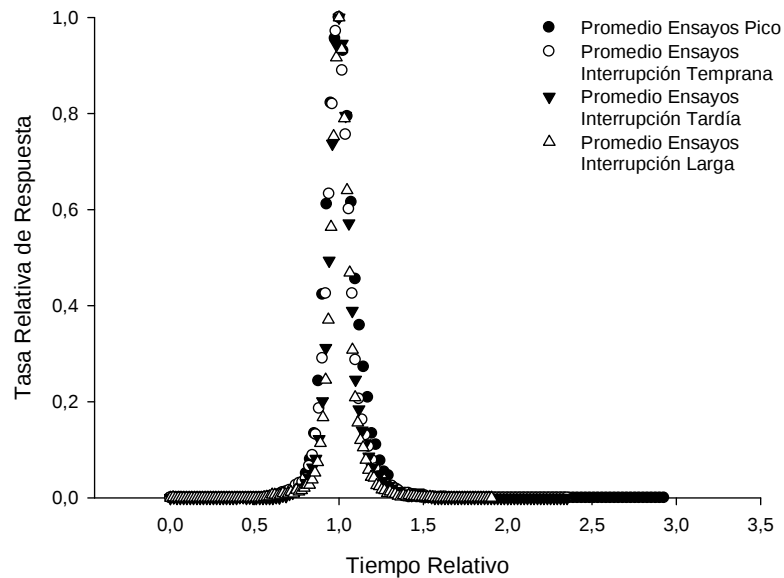


Figura 9. Tasa de Respuesta Relativa como función del Tiempo Relativo, para ensayos Pico, Interrupción Temprana, Tardía y Larga.

Los índices concernientes a la fracción de Weber se analizaron por el factor tipo de ensayo; se obtuvo una $F(3,102)=85.67$, $p<0.05$. Los análisis Post-Hoc mostraron que la fracción de Weber fue significativamente menor en los ensayos pico respecto a los ensayos con interrupciones. Dentro de los ensayos con interrupciones no se encontraron diferencias significativas entre las interrupciones tempranas y tardías de acuerdo con la prueba de Scheffé. Para el factor sesión se determinó una $F(2, 68)=2.18$, $p>0.05$, en donde no hubo diferencias significativas a lo largo de las sesiones, lo que indica que no existió un efecto de aprendizaje, puesto que se mantuvieron constantes los índices para cada tipo de ensayo.

La Figura 10 muestra el cambio en el tiempo pico para cada tipo de ensayo (tiempo pico en ensayos con interrupción menos tiempo pico en ensayos pico sin interrupción). Se evaluó si este cambio en el tiempo pico ajustaba a alguna de las 2 principales hipótesis de operación del reloj interno: Detención ó re-inicialización.

Si el modo de operación del reloj interno de los participantes fue detención, entonces el desfase en el tiempo pico hubiera sido equivalente a la duración de la interrupción, en esta caso se esperaba que el desfase en los ensayos interrupción temprana y tardía fuera de 2 segundos y en la interrupción larga fuera de 5 segundos. En la Figura 10 se muestran los cambios en el tiempo pico de los ensayos con interrupción, especificando el tiempo de desfase esperado para ambos modos de operación del reloj interno.

Con la idea de tener sustento estadístico, el valor obtenido en cada tipo de interrupción en cada sesión fue contrastado contra el valor del tiempo pico de los ensayos pico sin interrupción más el valor del desfase esperado por la hipótesis de detención (2 segundos para las interrupciones tempranas y tardías, y 5 segundos para las interrupciones largas). Al evaluar las diferencias entre el desfase encontrado en cada uno de los tipos de interrupción y el predicho por la hipótesis de detención se encontraron diferencias significativas, lo que demuestra que el desfase encontrado fue mayor al predicho por la hipótesis de detención; mediante un ANOVA de medidas repetidas se obtuvo una $F(1, 34)=9.1648$, $p<0.05$ para los ensayos interrupción temprana, un valor $F(1, 34)=9.328$, $p<0.05$ para los ensayos interrupción tardía y finalmente para los ensayos interrupción larga una $F(1, 34)=5.319$, $p<0.05$.

Al realizar este mismo análisis con la hipótesis de re-inicialización se esperaba que el desfase en los ensayos con interrupción temprana fuera de 4 segundos y en los ensayos con interrupción tardía y larga fuera de 7 segundos, debido a que dicho desfase sería equivalente a la duración del ensayo antes de la interrupción más la duración de la interrupción misma. De manera semejante se halló que el desfase en el tiempo pico no ajustó a esta hipótesis en ningún tipo de ensayo. Los ANOVA realizados muestran diferencias significativas entre el cambio en el tiempo pico predicho por la hipótesis de re-inicialización y el cambio en el tiempo pico encontrado en la condición interrupción temprana ($F(1, 34)=362.2$, $p<0.05$), interrupción tardía ($F(1, 34)=3287.2$, $p<0.05$) e interrupción larga ($F(1, 34)=68.84$, $p<0.05$).

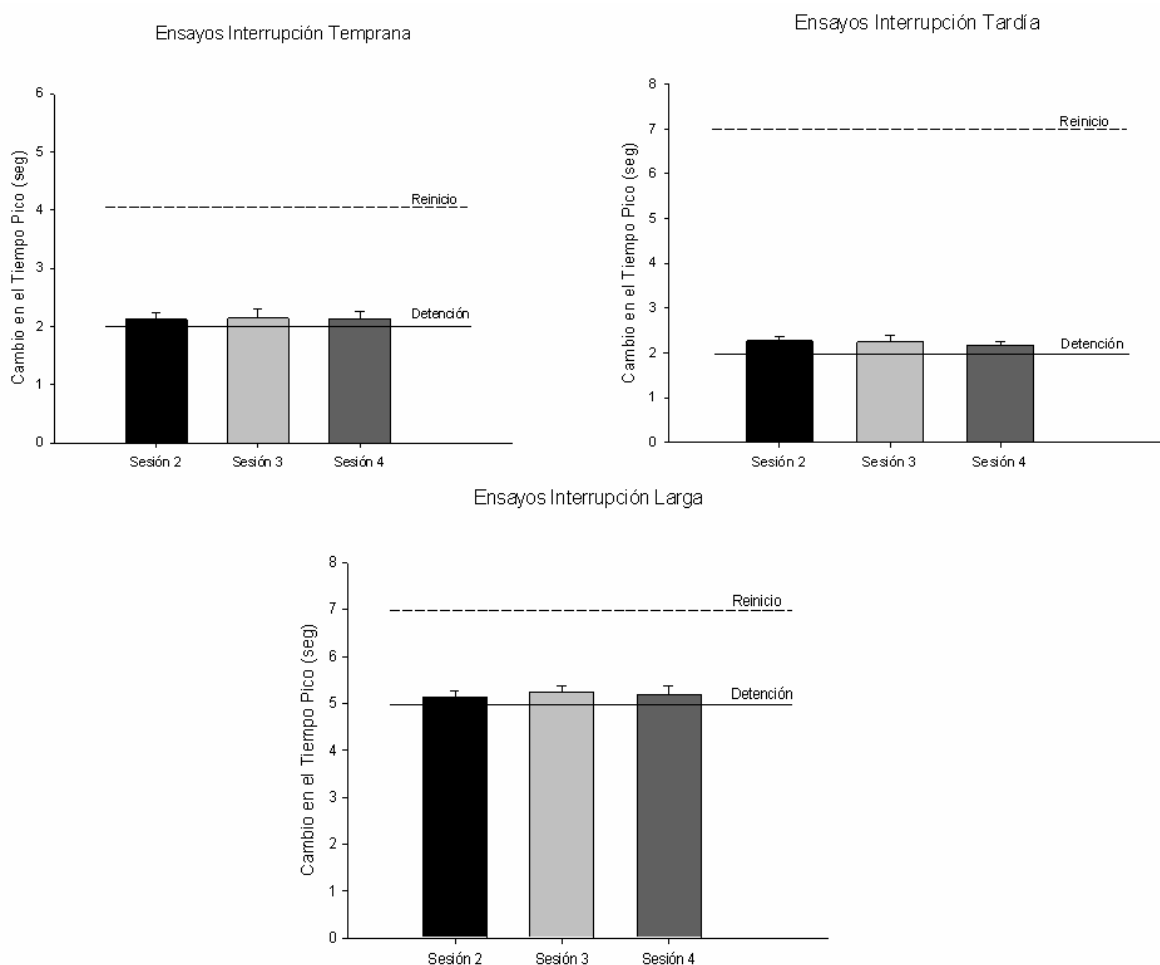


Figura 10. Cambio en el tiempo pico en los distintos tipos de ensayos con interrupción: Temprana, Tardía y Larga a través de las 3 sesiones experimentales.

DISCUSIÓN

La presente investigación tuvo como principal objetivo estudiar en seres humanos bajo la perspectiva de SET (Gibbon, 1977) una de las propiedades del reloj interno, el modo de operación. Para ello utilizamos el procedimiento pico con interrupciones. Dado que el procedimiento pico con interrupciones no ha sido utilizado en seres humanos, una preocupación era la correcta implementación de la tarea ya que no se conocía con certeza la proporción de los ensayos pico sin interrupción y pico con interrupción que se debía utilizar por cada sesión. Se decidió que la cantidad total de ensayos fuera 80, de los cuales un 25% de los ensayos fueron de recordatorio y un 75% fueron ensayos pico. En las sesiones con interrupción (2, 3 y 4) en el 50% de los ensayos pico se presentaron interrupciones. Es importante mencionar una gran diferencia respecto a la literatura animal, pues con el fin de que la conducta de estimación temporal no se extinga, en el procedimiento de pico comúnmente se presentan ensayos intervalo fijo en el 75% de los ensayos, es decir, sólo en la cuarta parte se presentan ensayos pico; cuando se utiliza el procedimiento de pico con interrupciones, el porcentaje predominante de ensayos son intervalo fijo (75% ensayos totales), un 5% son ensayos pico y un 20% son ensayos pico con interrupciones (Cabeza de Vaca, et al., 1994). En nuestra versión del procedimiento pico con interrupciones, no se respetaron tales parámetros ya que se hubiera necesitado una gran cantidad de sesiones experimentales para poder obtener los datos aquí presentados.

Las funciones de distribución de respuesta durante los ensayos pico (incluyendo aquéllos con interrupciones) para los datos individuales de este experimento fueron descritas apropiadamente por una ecuación Gaussiana de 3

parámetros (el promedio de las R^2 individuales, fue por lo menos 0.93), que ha sido ampliamente utilizada en la literatura animal (S. Roberts, 1981).

El primer hallazgo significativo de la tarea experimental fue que las funciones de respuesta en los ensayos pico resultaron semejantes a las reportadas por Rakitin, et al., (1998). En la primera sesión del presente reporte el tiempo pico se ubicó a los 10.35 segundos, solo un 3.5% desfasado (ver tabla 1) respecto al tiempo criterio. Este desfase fue casi idéntico al 3.75% reportado por Rakitin, et al., (1998), en donde el tiempo criterio fue de 8 segundos. El valor promedio para los ensayos pico en la sesión 2 fue de 10.63 segundos, que representa un 6.3% de desfase, el cual es mayor al reportado previamente por Rakitin, et al., (1998); se considera como una posible explicación para este mayor desfase la introducción de los ensayos pico con interrupciones. Para la sesión 4 una vez que los participantes estaban habituados a las interrupciones, el tiempo pico disminuyó hasta obtener una diferencia del 2% (10.20 segundos) en el tiempo criterio. Es importante mencionar que a diferencia del experimento de Rakitin, et al., (1998). En el presente experimento no existió retroalimentación post-ensayo, lo que permite suponer que de haber existido retroalimentación hubiera habido un menor desfase entre el tiempo pico obtenido y el tiempo criterio entrenado; ya que al tener un índice de la exactitud y precisión, la ejecución podría ser mejorada.

Una vez demostrada la validez del procedimiento pico, se procedió a analizar el impacto de las interrupciones en la estimación temporal. En el piloteo algunos participantes reportaron que la desaparición momentánea del estímulo era una falla en la programación de la tarea, lo que provocaba que interrumpieran la tarea para informarle al experimentador. Debido a ello, en el

experimento final se les informó explícitamente que las interrupciones no eran un error, que al contrario eran un elemento importante de la tarea experimental.

Lo más importante de los datos en los ensayos pico con interrupciones es el análisis del ajuste hacia alguna de las 2 principales hipótesis de operación del reloj interno. Las comparaciones de los tiempos pico obtenidos en los ensayos con los 3 tipos de interrupciones y el tiempo pico obtenido en los ensayos pico (cambio en el tiempo pico), nos sugiere un mejor ajuste de los datos para la hipótesis de detención, lo cual se observa en el desfase de los tiempos pico de la Figura 10. A pesar de que en cada uno de los tres tipos de ensayos con interrupción, los análisis estadísticos nos indican que existen diferencias significativas entre el tiempo pico de los ensayos con interrupciones y el tiempo pico esperado de acuerdo a la hipótesis de detención, el desfase es sumamente cercano al predicho por la hipótesis de detención, sugiriendo que la estimación del intervalo fue detenida durante la interrupción, conservando el tiempo previo a la interrupción en memoria.

Una posible explicación alternativa al comportamiento mostrado en el presente trabajo y que concierne a la exactitud de la estimación en los diversos tipos de ensayo y el posible ajuste hacia la hipótesis de detención antes planteada, es la inherente capacidad de conteo en los seres humanos; se puede descartar tal posibilidad dado que experimentalmente se controló este efecto con los dígitos distractores, además de que en las instrucciones se les pidió a los participantes *estimar* el intervalo de tiempo que duraba el estímulo y explícitamente se les pidió que no *contaran* el intervalo de tiempo que permanecía el estímulo en la pantalla y que evitaran el uso de ayuda motora (en

pies y manos) o de algún dispositivo externo (reloj, celular, reproductor de música) con el fin de remarcarles la gran importancia que ejercería el factor “ayuda adicional”, sobre la tarea. Evidentemente a los participantes no se les explicó que si ejercían tal *ayuda adicional* la tarea sería propiamente conteo de un intervalo, sino que sólo se les explicó que no era de nuestro interés el obtener sus índices de estimación temporal por medio de susodicha estrategia, al contrario nos interesaba su estimación en ausencia de la misma.

Además de estos controles metodológicos, la comparación de nuestros resultados con los de Rakitin, et al., (1998) brinda evidencia adicional de la ausencia de conteo en el presente experimento; se compararon los índices de desfase contra los reportados por Rakitin, et al., (1998) en donde en diferentes condiciones experimentales se favorecía o se impedía exhibir la estrategia de conteo. Nuestros datos muestran que el tiempo pico está a 3.5% del tiempo pico esperado; Rakitin, et al., (1998) presentaron un intervalo criterio de 12 segundos, y cuatro condiciones experimentales; dos de ellas favorecían el conteo del intervalo criterio, NO DIGITOS Y CONTEO, y DIGITOS Y CONTEO, las cuales generaron porcentajes de desfase de -0.06% (11.92 segundos), y 1.5% (12.18 segundos), respectivamente. En las dos condiciones en donde se impedía contar, NO DIGITOS Y ESTIMACION, y DIGITOS Y ESTIMACION, los porcentajes de desfase fueron 2.17% (12.26 segundos) y 1.5% (12.18 segundos), respectivamente.

Se puede observar que el desfase en el tiempo pico de nuestros datos está más cerca del rango de las condiciones de estimación y que no es consistente con el grupo No dígitos y conteo, en donde el desfase del tiempo pico estimado fue negativo. Por otra parte, en lo que respecta a la dispersión de los datos, se encontró un rango de dispersión cercano al exhibido en las condiciones de

conteo, por lo que concluimos que los participantes mostraron una conducta de estimación temporal exacta y precisa ya que los índices obtenidos para el tiempo pico y la desviación estándar así lo indican. Dado que la estrategia de conteo implica la violación de la propiedad escalar (Hinton y Rao, 2004), para poder ser concluyentes en la utilización de la estrategia de estimación se debería generar investigación adicional, en donde el objetivo sería corroborar la exhibición de la propiedad escalar por medio de la estimación de diversas duraciones del estímulo.

Los resultados del presente experimento también permiten comparar el desempeño entre especies en una tarea de estimación temporal inmediata. Existe una amplia línea de investigación en múltiples especies animales, que abarca peces (Talton, et al., 1999), ratas (S. Roberts, 1981), palomas (Cabeza de Vaca, et al., 1994) y evidentemente seres humanos (Rakitin, et al., 1998), encontrando que todas las especies estudiadas exhiben en general la misma característica: estimación temporal de un intervalo de tiempo muy cercana a la duración del intervalo presentado. Teniendo de referencia estos antecedentes en múltiples especies animales, el comparar los modos de operación del reloj interno entre especies por medio del procedimiento pico con interrupciones puede generar especial interés en el dominio de la cognición animal, ya que los datos obtenidos en seres humanos se aproximan cercanamente hacia la hipótesis de detención. En términos de diferencias entre especies, se ha encontrado que las palomas tienden a reiniciar (W. A. Roberts, et al., 1989), mientras que las ratas pueden detener o reiniciar, siendo una especie flexible en este ámbito, dependiendo de la manipulación experimental (Buhusi, et al., 2005; S. Roberts, 1981). El presente estudio se añade a esta literatura con el reporte de claros

indicios de que el modo de operación del reloj interno en seres humanos se aproxima hacia la estrategia de detención.

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en la literatura animal en donde se han encontrado diferencias en los modos de operación del reloj interno debido a la modalidad sensorial del estímulo estimado, se propone replicar el presente experimento modificando la modalidad sensorial del estímulo a auditiva. Los resultados obtenidos a través de nuestro procedimiento podrían sentar las bases para que en un futuro se evalúen posibles trastornos en la memoria temporal de diversos trastornos psicopatológicos. De esta manera el presente trabajo representa la primera aproximación al estudio de una de las propiedades del reloj interno que ha sido normalmente abordada desde el modelo SET. Nuestros datos demuestran que existe una predominancia de la estrategia de detención, por otra parte bajo la perspectiva de la hipótesis de decaimiento de memoria (Cabeza de Vaca, et al., 1994) los presentes resultados sugieren que la tasa de decaimiento de memoria temporal en seres humanos es menor que en cualquiera de las otras especies que han sido evaluadas en este procedimiento. Los resultados presentados abren un amplio panorama para continuar estudiando variables relacionadas con el modo de operación del reloj interno.

Referencias

- Allan, L. G. (1998). The influence of the scalar timing model on human timing research. *Behavioural Processes*, 44, 101-117.
- Balsam, P. D., Drew, M. R. & Gallistel, C. R. (2010). Time and associative learning. *Comparative Cognition & Behavior Reviews*, 5, 1-22.
- Boisvert, M. J. & Sherry, D. F. (2006). Interval timing by an invertebrate, the bumble bee *Bombus impatiens*. *Current Biology*, 16(16), 1636-1640.
- Buhusi, C. V. & Meck, W. H. (2000). Timing for the absence of a stimulus: the gap paradigm reversed. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 26(3), 305-322.
- Buhusi, C. V. & Meck, W. H. (2005). What makes us tick? Functional and neural mechanisms of interval timing. *Nature Reviews Neuroscience*, 6(10), 755-765.
- Buhusi, C. V. & Meck, W. H. (2007). Effect of clozapine on interval timing and working memory for time in the peak-interval procedure with gaps. *Behavioural Processes*, 74, 159-167.
- Buhusi, C. V., Perera, D. & Meck, W. H. (2005). Memory for timing visual and auditory signals in albino and pigmented rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 31(1), 18-30.
- Cabeza de Vaca, S., Brown, B. L. & Hemmes, N. S. (1994). Internal clock and memory processes in animal timing. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 20(2), 184-198.
- Catania, A. C. (1970). Reinforcement schedules and psychophysical judgments: A study of some temporal properties of behavior In W. N. Schoenfeld (Ed.),

- The theory of reinforcement schedules* (pp. 1-42). New York: Appleton-Century-Crofts.
- Church, R. M. (1984). Properties of the internal clock. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423, 566-582.
- Church, R. M. (2002). Temporal Learning. In H. Pashler & C. R. Gallistel (Eds.), *Stevens' Handbook of Experimental Psychology*. (3rd ed., Vol. 3, Learning, Motivation, and Emotion, pp. 365-394). New York: Wiley.
- Church, R. M. (2003). A concise introduction to scalar timing theory. In W. H. Meck (Ed.), *Functional and neural mechanisms of interval timing* (pp. 3-22): CRC Press.
- Church, R. M. & Deluty, M. Z. (1977). Bisection of temporal intervals. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 3, 216-228.
- Eckerman, D. A. (1999). Scheduling reinforcement about once a day. *Behavioural Processes*, 45, 101-114.
- Ferster, C. B. & Skinner, B. F. (1957). Fixed ratio *Schedules of Reinforcement* (pp. 39-132). New York: Appleton Century Crofts.
- Fortin, C., Fairhurst, S., Malapani, C., Morin, C., Towey, J. & Meck, W. H. (2009). Expectancy in humans in multisecond peak-interval timing with gaps. *Attention, Perception, & Psychophysics*, 71(4), 789-802.
- Fortin, C. & Massé, N. (2000). Expecting a break in time estimation: Attentional time-sharing without concurrent processing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 26(6), 1788-1796.
- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's Law in animal timing. *Psychological Review*, 84, 279-325.
- 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. In H. L. Roitblat, T. G. Bever & H. S. Terrace (Eds.), *Animal Cognition* (pp. 465-488). New Jersey: Lawrence Erlbaum, Hillsdale.
- Gibbon, J., Church, R. M. & Meck, W. H. (1984). Scalar timing in memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, 423, 52-77.
- Grace, R. C. & Nevin, J. A. (1999). Timing and choice in concurrent chains. *Behavioural Processes*, 45, 115-127.
- Hinton, S. C. & Rao, S. M. (2004). "One-thousand one... one-thousand two...": Chronometric counting violates the scalar property in interval timing. *Psychonomic Bulletin Review*, 11(1), 24-30.
- Kaiser, D. H. (2008). The proportion of fixed interval trials to probe trials affects acquisition of the peak procedure fixed interval timing task. *Behavioural Processes*, 77, 100-108.
- Kaiser, D. H., Zentall, T. R. & Neiman, E. (2002). Timing in pigeons: Effects of the similarity between intertrial interval and gap in a timing signal. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 28, 416-422.
- Killeen, P. R. & Fetterman, J. G. (1988). A behavioral theory of timing. *Psychological Review*, 95, 274-295.
- Levin, E. D., Conners, C. K., Sparrow, E., Hinton, S. C., Erhardt, D. & Meck, W. H. (1996). Nicotine effects on adults with attention-deficit/hyperactivity disorder. *Psychopharmacology*, 123(1), 55-63.
- Machado, A. (1997). Learning the temporal dynamics of behavior. *Psychological Review*, 104, 241-265.

- Meck, W. H. (1996). Neuropharmacology of timing and time perception. *Cognitive Brain Research*, 3, 227-242.
- Morrissey, G., Wogar, M. A., Bradshaw, C. M. & Szabadi, E. (2000). Effect of lesions of the ascending 5-hydroxytryptaminergic pathways on timing behaviour and the circadian time-keeping system revisited. *Brain Research Reviews*, 33, 34-77.
- Muller, P. G., Crow, R. E. & Cheney, C. D. (1979). Schedule-induced locomotor activity in humans. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 31, 83-90.
- Rakitin, B. C., Gibbon, J., Penney, T. B., Malapani, C., Hinton, S. C. & Meck, W. H. (1998). Scalar expectancy theory and peak-interval timing in humans. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 24(1), 15-33.
- Roberts, S. (1981). Isolation of an internal clock. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 7, 242-268.
- Roberts, S. & Church, R. M. (1978). Control of an internal clock. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 4, 318-337.
- 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.
- Shull, R. L. (1970). The response-reinforcement dependency in fixed-interval schedules of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 14, 55-60.

- Talton, L. E., Higa, J. J. & Staddon, J. E. R. (1999). Interval schedule performance in the goldfish *Carassius auratus*. *Behavioural Processes*, 45, 193-206.
- Wearden, J. H. (1991). Human performance on an analogue of an interval bisection task. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B: Comparative and Physiological Psychology*, 43, 59-81.
- Wearden, J. H., Rogers, P. & Thomas, R. (1997). Temporal bisection in humans with longer stimulus durations. *Quarterly Journal of Experimental Psychology Section B: Comparative Physiological Psychology* 50, 79-94.