



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

Facultad de Psicología

División de Estudios Profesionales

“La modulación de la modalidad y pertinencia de la señal sobre la estimación temporal”

Alumno: Reyes Silva Juan Sebastian

No. de Cuenta 406065807

Correo Electrónico [jsebastian.reyes86@gmail.com](mailto:jsebastian.reyes86@gmail.com)

Teléfono 5521353008

Proyecto de Tesis de Investigación Empírica para obtener el Grado de  
Licenciatura

Director: Dr. Oscar Vladimir Orduña Trujillo

Revisor: Dr. Oscar Zamora Arévalo

México, Distrito Federal

Agosto 2012



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## Índice

Resumen.....	3
Introducción.....	4
Marco Teórico.....	7
Estimación Temporal.....	7
Conducta y Estimación Temporal.....	7
Estímulos y Estimación Temporal.....	8
Memoria y Estimación Temporal.....	10
Metodología.....	12
Hipótesis.....	12
Objetivo.....	12
Objetivos Específicos.....	12
Variables Independientes.....	12
Variables Dependientes.....	13
Sujetos.....	13
Aparatos.....	13
Preentrenamiento.....	14
Fases Experimentales.....	15
Análisis de Datos.....	16
Resultados.....	19
Adquisición.....	19
Conducta Estable.....	20
Ensayos Pico con Interrupciones.....	25
Discusión.....	30
Conclusiones.....	38
Referencias.....	40
Anexo.....	46

## Resumen

Algunos autores han propuesto que la prominencia percibida del estímulo afecta los juicios de estimación temporal y los procesos mnémicos involucrados en la estimación temporal. Según esta propuesta, el desempeño en tareas de estimación temporal se ve alterado por las características físicas del estímulo y las capacidades sensoriales del organismo. Sin embargo, la evidencia que apoya esta hipótesis surge de estudios en donde se varía el modelo animal y/o se tiene poca consideración de las características del organismo y del estímulo. Dado que las teorías de aprendizaje suponen que éste será más rápido si se hace más notorio el estímulo en conjunto con las capacidades sensoriales de los roedores, surge una alternativa para corroborar esta suposición. A través del uso de procedimientos de Pico y de Pico con Interrupciones evaluamos la implicación de la modalidad y pertinencia de las señales a estimar en los juicios temporales y los posibles procesos mnémicos involucrados. Utilizando luces y tonos evaluamos la modalidad del estímulo, y haciendo variaciones intramodales en la frecuencia de los tonos evaluamos la pertinencia. Se emplearon doce ratas Wistar, las cuales fueron sometidas a 60 sesiones de procedimiento de Pico y diez sesiones de procedimiento de Pico con Interrupciones. Se analizaron las sesiones de la fase de adquisición, las sesiones de la fase de ensayos Pico y las diez sesiones de la fase de Pico con Interrupciones. Se hicieron estimaciones de tasa de respuesta media, estimaciones según el ajuste de curva gaussiana y estimaciones de ensayos individuales. Posteriormente se utilizó un análisis de varianza mixto con los valores obtenidos. Por un lado, las comparaciones entre análisis sugiere la reexaminación de los tratamientos matemáticos en la obtención de los estimados; y por otra parte, con base en el análisis de ensayos individuales y a los resultados estadísticos obtenidos, se concluye que los juicios temporales y los posibles procesos mnémicos implicados no son sesgados por tonos o luces, ni por las variaciones en la frecuencia de los estímulos auditivos.

Términos clave: estimación temporal, prominencia percibida, modalidad y pertinencia del estímulo.

## Introducción

El estudio sobre el proceso de estimación temporal se encuentra en el núcleo del entendimiento sobre el comportamiento y los procesos cognoscitivos. La estimación temporal es un proceso dominante entre las especies, los estados de desarrollo y los diversos comportamientos animales, tanto en forma como en complejidad (Meck, 2003). La información temporal es utilizada por los organismos en el desarrollo de conductas que incluyen el forrajeo, la toma de decisiones, el aprendizaje de asociaciones, entre otras (Buhusi, Perera y Meck, 2005). En trabajos experimentales de laboratorio el procedimiento de Pico y el procedimiento de Pico con Interrupciones permiten un acercamiento a los procesos de estimación temporal, atención y memoria (Cabeza de Vaca, Brown, y Hemmes, 1994). Estos procedimientos consisten, en primera instancia, en la presentación de ensayos de Intervalo Fijo (IF), combinados con ensayos tres veces más largos, denominados ensayos Pico en donde no es entregado el reforzador. En una variación de los ensayos Pico, se encuentran los ensayos Pico con Interrupción, donde se introduce un lapso de tiempo en el cual el estímulo que señala el ensayo es suspendido y el reforzador tampoco es entregado. Entre cada uno de estos ensayos se encuentra un intervalo de duración variable, los llamados Intervalos Entre Ensayos (IEE). Algunos autores asumen, que en estos procedimientos, el desempeño del animal depende tanto del tipo de estímulo como de las capacidades sensoriales del organismo. Por ejemplo, utilizando humanos, Grondin y Rousseau (1991) encontraron que las variaciones en la modalidad y las variaciones intramodales de los estímulos modificaban los juicios de estimación temporal. En otro trabajo (ver Introducción en Meck, 2003), se utilizaron señales auditivas versus visuales, al comparar pacientes con Alzheimer, pacientes con Parkinson, pacientes con daño en cerebelo y sujetos control en tareas de bisección temporal, se mostró que las duraciones de los sonidos eran juzgadas como más largas en comparación con luces. En otro estudio, Buhusi et al. (2005) encontraron en dos cepas de ratas, albinas y pigmentadas, un desempeño diferente en tareas de estimación temporal ante estímulos visuales versus estímulos auditivos. En este trabajo se concluyó que las diferencias en estimación temporal estaban sujetas a la prominencia percibida del estímulo, es decir, que las capacidades sensoriales

en conjunto con las características del estímulo modificaban los juicios de estimación temporal. Sin embargo, un análisis de los trabajos sugiere la reevaluación de la idea planteada. En particular, el trabajo llevado a cabo por Buhusi et al. (2005) muestra poco control de los estímulos utilizados. Por otro lado, las ratas albinas y pigmentadas comparten capacidades visuales (Herreros de Tejada, Green y Muñoz, 1992) y auditivas similares (Syka, Rybalko, Brozek y Jilek, 1996), lo cual implica que sus capacidades biológicas no marcaron diferencia en su desempeño, en contraposición a las sugerencias de los autores. Actualmente, la idea básica de que la conducta puede reflejar al estímulo que la desencadena sigue siendo una parte esencial de la teoría de la conducta (Lea, Goto, Osthhaus, y Ryan, 2006). Las teorías del aprendizaje por lo general suponen que éste es más rápido con estímulos más notorios (Mackintosh, 1975). Siendo posible aumentar la notoriedad o importancia de un estímulo aumentando su intensidad, así como su capacidad para atraer la atención. Asimismo, puede aumentarse la notoriedad de un estímulo haciéndolo más pertinente para las necesidades biológicas del organismo. Una forma de aumentar la notoriedad de un estímulo es hacerlo más parecido a los tipos de estímulos que puede encontrar el animal en su entorno natural (Domjan, 2010). En estudios recientes (Heffner, Koay y Heffner, 2001; Heffner y Heffner, 2007) se ha mostrado que el rango de frecuencia audible para los roedores abarca desde los 500 Hertz (Hz) hasta los 64 kilohertz (kHz) en intensidades que van de 10 a 60 decibelios (dB). Aún más, otros estudios (Holy y Guo, 2005; Kimchi, Xu y Dulac, 2007) han encontrado en roedores la capacidad de emisión de vocalizaciones ultrasónicas complejas de hasta 110 kHz, mostrando, que estos animales cuentan con el sistema biológico capaz de percibir y emitir señales de alta frecuencia. Considerando los resultados obtenidos por Buhusi et al. (2005) en conjunto con la información reunida sobre la modalidad del estímulo y la capacidad del sistema biológico del roedor, se replantea la pregunta sobre la relevancia de las características del estímulo y las implicaciones sobre el proceso de estimación temporal. En este trabajo se expone una forma alternativa de probar los efectos de la modalidad y pertinencia del estímulo. Al utilizar diferentes estímulos en una misma cepa de roedores, se mantiene el organismo en cuestión y se aísla el efecto de la modalidad del estímulo, y al hacer variaciones intramodales se permite evaluar la pertinencia de la señal al

adecuarlo a las características del roedor. Para abordar la hipótesis, primeramente contrastamos el desempeño ante luces y tonos, y posteriormente, contrastamos el desempeño ante distintas frecuencias en los tonos durante los procedimientos de Pico y de Pico con Interrupciones.

## **Estimación Temporal**

El estudio sobre el control temporal tiene relevancia universal, como dimensión de la conducta y como variable ambiental (Bradshaw y Szabadi, 1997). Este control temporal se encuentra en el núcleo del entendimiento sobre el comportamiento y los procesos cognoscitivos (Domjan, 2010). Sin embargo, nos encontramos lejos de llegar a un acuerdo sobre las interacciones entre el control temporal, el comportamiento y los procesos cognoscitivos. En el marco de la estimación temporal de intervalos, se han diseñado varias teorías y modelos. Por mencionar ejemplos, la teoría conductual de estimación temporal (Killeen y Fetterman, 1988), la teoría de estimación temporal espectral (Grossberg y Schmajuk, 1989), el modelo de oscilador múltiple (Church y Broadbent, 1990), el modelo de escala de tiempo múltiple (Staddon y Higa, 1999), el modelo de osciladores e indicadores de estado sugerido originalmente por Gallistel en 1990 (citado en Shettleworth, 2010) y la teoría de estimación temporal escalar propuesta inicialmente por Gibbon en 1977 (citado en Meck, 2003). Esta última, es probablemente la más influyente. Brevemente, esta teoría puede ser entendida a nivel de principios derivados de hallazgos empíricos; a nivel de metáfora como procesamiento de información, el cual considera que la conducta controlada temporalmente está basada en tres procesos: 1) la percepción temporal, compuesta a su vez por un marcapasos, un switch y un acumulador, 2) la memoria y 3) un estado de decisión; y a nivel de modelo formal constituido por términos básicos (estímulos, reforzadores y respuestas) y reglas de transformación cuantitativa (Gibbon y Allan, 1984, citados en Meck, 2003).

## **Conducta y Estimación Temporal**

La estimación temporal, en particular, es un proceso dominante entre las especies, los estados de desarrollo y los diversos comportamientos animales, tanto en forma como en complejidad. La estimación temporal de intervalos ha sido sugerida en nematodos (Brockie, Mellen, Hills, Madsen y Maricq, 2001), abejas (Gould, 1988), tortugas, peces (Lejeune y Wearden, 1991), palomas (Higa, Wynne y Staddon, 1991), roedores (Sanabria y Killeen, 2007) y humanos (Droit-Volet, 1998). Las guías temporales son usadas como guía en el desarrollo

de conductas que incluyen el forrajeo (Bateson y Kacelnik, 1995), toma de decisiones (Balci, Freestone y Gallistel, 2009), aprendizaje de cantos (Hahnloser, Kozhevnikov y Fee, 2002) y el aprendizaje de asociaciones (Balsam y Gallistel, 2009).

### **Estímulos y Estimación Temporal**

Un estímulo es cualquier condición o manipulación del ambiente realizada por el experimentador, que evoque una respuesta en un organismo. Una respuesta es cualquier clase de comportamiento del organismo. El supuesto es que para cualquier clase de comportamiento siempre hay un estímulo. Por lo tanto, el comportamiento del organismo es una respuesta. Esto se ve reflejado en la ecuación:  $R = f(O, E)$ , cuya lectura es “las respuestas son una función del organismo y los estímulos” (Kerlinger y Lee, 2002). Actualmente, sigue siendo una idea clave de la teoría de la conducta, que la estructura del estímulo restrinja o sesgue la manera en que el organismo se conduce (Lea et al., 2006). Los psicólogos y fisiólogos se han interesado desde hace mucho tiempo por la forma en que los organismos identifican y distinguen diferentes estímulos. De hecho, algunos ha sugerido que esta es la cuestión individual más importante en psicología (Stevens, 1951 citado en Domjan, 2010). La relevancia del control de la conducta por el estímulo radica en la forma en que los organismos se ajustan a su ambiente. La supervivencia de los organismos depende de su capacidad para realizar respuestas que sean apropiadas a sus circunstancias. Por ejemplo, en el trabajo de Kimchi et al. (2007) se observó que sin la capacidad para detectar feromonas los roedores eran incapaces de discriminar el sexo de sus coespecíficos, desencadenando conductas agresivas y de cortejo poco adaptativas a la circunstancia. Contrariamente, en este mismo trabajo, se pueden observar conductas particulares al cortejo, como las vocalizaciones ultrasónicas y la monta. En otro trabajo, Akins (2000) observó que las conductas de codornices macho estaban relacionadas con la presencia de estímulos guía, en este caso sus coespecíficos hembra. Por otra parte, conductas específicas eran mostradas en diferentes lapsos de tiempo a través de los ensayos. Estos dos trabajos sirven para ilustrar que el comportamiento de los organismos está

en función de las características de los organismos y las características ambientales.

En el análisis experimental de la conducta, se han llevado a cabo numerosos estudios modificando la modalidad de los estímulos, esto es, utilizando estímulos dirigidos a distintas orientaciones sensoriales, como la visión, el oído, el gusto, el olfato, el dolor, la temperatura, etcétera (Kandel, Schwartz y Jessell, 2000). En forma más delimitada, se han llevado a cabo estudios haciendo variaciones intramodales en los estímulos, esto es, modificando características propias de los estímulos como la frecuencia de un tono, la intensidad de la luz, la presión de un artefacto colocado sobre la mano, etcétera. Estas variaciones intramodales van dirigidas a una orientación sensorial del organismo. En este contexto, se puede hablar de notoriedad del estímulo. Un estímulo es más notorio cuando se incrementa su importancia o perceptibilidad para el organismo en cuestión. Cuando se hace más perceptible el estímulo, se asume un incremento para atraer la atención del organismo. En este sentido, se incrementa la pertinencia de un estímulo cuando se aumenta su notoriedad, adecuándolo a las necesidades biológicas o historia evolutiva del organismo (Mackintosh, 1975; Domjan, 2010).

El estudio de las interacciones entre la modalidad, pertinencia y control temporal no son excepción. Desde 1857, Czermak compara la precisión de los juicios temporales en relación a la capacidad sensorial (Gridley, 1932; citado en Meck, 2003); y aunque, algunos autores hablan sobre diferencias típicas dependientes de la modalidad del estímulo (Meck, 2003), aún existe desacuerdo sobre las implicaciones de la modalidad del estímulo en la estimación temporal. Estudios con humanos han reportado que los estímulos visuales y auditivos son juzgados como equivalentes en duración (Szelag, Kowalska, Rymarczyk y Pöppel, 2002; Kagerer, Wittmann, Szelag y Steinbüchel, 2002), mientras que otros sugieren diferencias de modalidad (Grondin y Rosseau, 1991; Penney, Gibbon y Meck, 2000). En palomas, utilizando procedimientos de pico y procedimientos de discriminación temporal, Roberts, Cheng y Cohen (1989) encontraron que los juicios de estimación temporal eran más precisos ante estímulos visuales en comparación con estímulos auditivos. De igual manera, en acuerdo con la hipótesis de diferencias dependientes de modalidad del estímulo en los juicios temporales, utilizando procedimientos de pico y pico con interrupciones Buhusi

et al. (2005) encontraron que roedores de diferentes cepas se desempeñaban de forma particular ante los distintos estímulos.

### **Memoria y Estimación Temporal**

Memoria es el término más general para referirse al proceso que permite a los organismos dirigir su conducta con base en la información adquirida en experiencias individuales (Shettleworth, 2010). La existencia de la memoria en los animales es identificada por el hecho de que su conducta actual se basa en algún aspecto de sus experiencias anteriores (Domjan, 2010). Generalmente, se acepta la distinción entre memoria de referencia y memoria de trabajo (Kandel, et al., 2000); la primera asociada a una memoria a largo plazo y a características invariantes del entorno, por ejemplo, el tiempo de espera asociado al reforzador en un programa de IF (Bradshaw y Szabadi, 1997), mientras que la segunda se asocia a una memoria a corto plazo y es definida operacionalmente en experimentos con animales como aquella memoria para eventos en un ensayo específico, por ejemplo, el intervalo de tiempo anterior a la interrupción en un ensayo Pico con Interrupción (Swearingen y Buhusi, 2010).

En gran medida, el control temporal de la conducta ha sido investigado enmarcado en la suposición del reloj interno (Cabeza de Vaca et al., 1994). Resumiendo, se asume que un animal genera una memoria de referencia sobre los tiempos de reforzamiento tras el entrenamiento en programas de IF. La emisión de pulsos por el reloj interno en un ensayo dado, permite comparar los tiempos de referencia con el tiempo acumulado para ese ensayo. Conforme transcurre el ensayo, algún valor de referencia es comparado con el tiempo acumulado. Si el umbral de comparación es sobrepasado, el animal comienza a responder, dando lugar al estado de tasa de respuesta alto. Para los ensayos Pico, el estado de tasa de respuesta alto se prolonga sobre el ensayo, en comparación con el estado de tasa de respuesta alto para un ensayo de IF, cuya finalización se encuentra enmarcada en la entrega del reforzador. Asumiendo que el reloj interno podría funcionar como un cronómetro, los resultados de los experimentos de ensayos Pico con Interrupción, han sido usados como indicativos de su funcionamiento (Catania, 1970, citado en Meck, 2003; Roberts, 1981). Se dice entonces que los animales puede asumir varias estrategias de

estimación temporal ante ensayos Pico con Interrupción. Dado que varios trabajos mostraban un desplazamiento del tiempo pico en aproximadamente la duración de la interrupción (Roberts, 1981), se asumía que el reloj interno era detenido ante la interrupción y reiniciado posterior a ésta, el tiempo anterior a la interrupción era retenido en la memoria de trabajo y sumado al resto del tiempo necesario para alcanzar el tiempo pico. Esta estrategia es conocida como la detención del reloj interno. Por otra parte, otros trabajos mostraban un desplazamiento del tiempo pico en donde parecía que el animal ignoraba el tiempo anterior a la interrupción y re-iniciaba el reloj interno posterior a la interrupción (Roberts et al., 1989). Esta estrategia es conocida como re-inicio del reloj interno. Trabajos posteriores evaluaron, directa o indirectamente, las estrategias de estimación temporal y el papel de la memoria de trabajo (Menez y López, 2006; Swearingen y Buhusi, 2010), encontrando poco apoyo hacia las estrategias de detención y re-inicio del reloj interno (Cabeza de Vaca et al., 1994). Se generaron propuestas alternativas considerando otros factores de los ensayos Pico con Interrupción y las características de los organismos. Entre estas alternativas se consideraba la duración de la interrupción, la localización de la interrupción, la duración de los intervalos entre ensayos y el decaimiento de memoria de trabajo por la influencia de factores como la discriminabilidad de la interrupción (Buhusi et al., 2005).

## Metodología

### *Hipótesis*

El uso de luces y tonos afectarán de forma diferenciada los juicios temporales de los rodeores y los procesos mnémicos involucrados, indicando que el sistema sensorial del animal y la modalidad del estímulo influyen en los procesos de estimación temporal. De igual manera, el uso de distintas frecuencias en los tonos, mostrará que la pertinencia del estímulo influye en la estimación temporal.

### *Objetivo*

Con base en los antecedentes, planteamos el siguiente objetivo general:

Probar si la modalidad y pertinencia de los estímulos afectan los juicios de estimación temporal y los procesos mnémicos involucrados.

### Objetivos Específicos

Para lograr el objetivo general, desarrollaremos los siguientes objetivos específicos:

1. Determinar si el uso de luces y tonos modifica el desempeño de los animales en los procedimientos de Pico.
2. Determinar si el uso de distintas frecuencias en los tonos modifica el desempeño de los animales en los procedimientos de Pico.
3. Determinar si la modalidad y pertinencia en los estímulos tiene repercusiones en el desempeño de los animales en los procedimientos de Pico con Interrupciones.

### Variables Independientes

Tonos puros (sinusoidales) a 65 dB con frecuencias de 3, 8 y 25 kHz.

Una luz blanca de 500 lux.

### Variables Dependientes

A partir de la tasa de respuesta de respuesta media y del ajuste de curvas gaussianas se obtuvo el tiempo pico, el ancho de la función de estimación temporal y la tasa de respuesta. A partir del análisis de ensayos individuales se obtuvieron el tiempo de inicio, el tiempo final, el tiempo medio y el ancho de estado de tasa de respuesta alto.

### *Sujetos*

Se utilizaron doce ratas macho de la cepa Wistar, con aproximadamente seis meses de edad al inicio del experimento y 420 gramos (g) de peso en promedio. Después de la habituación a las condiciones del bioterio (a 22 grados centígrados (°C) con un ciclo luz-oscuridad de doce horas), las ratas fueron pesadas durante siete días para obtener su línea base de peso. Posteriormente se redujo gradualmente la cantidad de alimento para cada animal hasta llegar al 85% de su peso original. El agua fue ad libitum. Las sesiones experimentales fueron llevadas a cabo durante el día a la misma hora.

### *Aparatos*

Se utilizaron seis cámaras de condicionamiento operante (MED Associates, Inc., Modelo ENV 008-VP). Cada cámara operante con las siguientes dimensiones: 30.5 centímetros (cm) de largo, 24.1 cm de ancho y 21.0 cm de alto. Todas las cámaras fueron colocadas dentro de un cubículo atenuante de sonido (MED Associates, Inc., Modelo ENV-022M). Barras de acero inoxidable de .48 cm de diámetro conformaron el piso. Cada cámara contenía dos palancas retráctiles (MED Associates, Inc., Modelo ENV-112CM) colocadas en la pared frontal a una altura de 10.5 cm y con un espaciado de un cm con respecto a las paredes de los lados. Cada palanca tenía 4.8 cm de ancho. Durante las fases experimentales se utilizaron tres luces, luz general, luz blanca experimental y luz del comedero. La luz general de 28 Volts (V), 100 miliamperios (mA) y 5000 lux (MED Associates, Inc., Modelo ENV-215M) fue colocada a 1.3 cm con respecto al techo y justo en medio de la pared frontal. El objetivo de la luz general fue evitar la ambigüedad de las instrucciones durante las interrupciones (Kaiser, Zentall y Neinam, 2002). La luz blanca experimental (variable independiente) de 28 V, 100 mA y 500 lux se colocó a 1.5 cm por arriba de la

palanca derecha. La luz del comedero de 28 V, 100 mA y 50 lux se ubicó dentro del comedero. El comedero o receptor de pellets midió 5.1 cm por lado (MED Associates, Inc., Modelo ENV-200R2M) y se ubicó en el centro de la pared frontal, a 2.5 cm con respecto al piso. Se utilizaron pellets de 45 miligramos (mg) (Bio-Serv, Product F0165). Se usó un dispensador de pellets modular (MED Associates, Inc., Modelo ENV-203M). La presentación de los estímulos y la adquisición de información fueron controladas por medio de computadoras personales, a través del lenguaje de programación Medstate (Med-PC-IV, MED Associates, Inc.). Para medir la intensidad de luz se utilizó un luxómetro digital (Steren; HER-410).

Para generar los tonos de 8 y 25 kHz a 65 dB, se construyeron cuatro generadores de funciones electrónicas sinusoidales utilizando el circuito integrado XR2206 y un tweeter piezoeléctrico como generador acústico. Para corroborar que los tonos generados tuvieran las propiedades deseadas, es decir, los niveles y las frecuencias, los sonidos emitidos fueron medidos en una cámara anecoica utilizando un analizador de frecuencias (Brüel & Kjaer, modelo 2133) y un osciloscopio (Tektronix, modelo TDS210). Los tweeters piezoeléctricos fueron colocados a 15 cm del micrófono (Brüel & Kjaer, modelo 3132) y las mediciones fueron llevadas a cabo. Otro generador de tonos previamente elaborado emitió los tonos de 3 kHz a 65 dB. Una vez dentro de las cámaras de condicionamiento operante, las potencias de este generador de tonos fue periódicamente medido a través de las fases experimentales con un decibelímetro digital (RadioShack; CAT. NO. 33-2055).

### *Preentrenamiento*

Una vez que las ratas llegaron al 85% de su peso línea base, fueron habituadas a la caja operante en una sesión diaria de 20 minutos (min) durante cinco días, donde tuvieron acceso a 20 pellets colocados en el comedero. Una vez que las ratas consumieron los 20 pellets, las sesiones de habituación fueron suspendidas. En sesiones posteriores las palancas retráctiles fueron mostradas y las ratas fueron sometidas a un programa de Razón Fija 1 (RF1) durante 20 min o hasta que obtuvieron 60 pellets (30 en cada palanca) en dos sesiones continuas. Una vez que cumplieron con el programa de RF1, se cambió a un programa RF5 durante 20 min o hasta que obtuvieron 60 pellets en dos

sesiones continuas. Una vez que cumplieron con el programa de RF5, se cambió a un programa RF10 durante 30 min o hasta que obtuvieron 60 pellets en dos sesiones continuas. Posteriormente fueron sometidas a un programa de Intervalo Aleatorio 15 segundos (IA15) durante dos sesiones o hasta que obtuvieron 60 pellets en dos sesiones continuas y finalmente fueron sometidas a dos sesiones de IA30 o hasta que obtuvieron 60 pellets en dos sesiones continuas. Una vez que estos programas fueron cumplidos, se procedió a la introducción de las fases experimentales.

### *Fases Experimentales*

Los ensayos Pico fueron introducidos durante las siguientes 60 sesiones posteriores al preentrenamiento. Estas sesiones estuvieron compuestas por 56 ensayos. Cada ensayo comenzó con el encendido de la luz experimental o el sonido, y la luz general. La función de la luz experimental o el sonido fue señalar el inicio del ensayo. El 75% de los ensayos fueron reforzados, es decir, fueron ensayos de Intervalo Fijo 30 segundos (IF30), donde la primera respuesta posterior a este lapso de tiempo fue reforzada activando el dispensador y otorgando un pellet de 45 mg. Durante el otro 25% de los ensayos, es decir los ensayos Pico (un total de 14 por sesión), el estímulo discriminativo, luz o tono, permaneció en funcionamiento por un lapso de tiempo variable, al menos 90 segundos (s), en el cual no se activó el dispensador ante la respuesta del animal. Todos los ensayos fueron separados por IEE de duración variable, cuyo promedio fue de 45 s, tiempo en que la palanca estuvo presente. En todas las sesiones, los primeros cinco ensayos fueron IF30. El orden del resto de los ensayos fue determinado aleatoriamente en una proporción de tres a uno, es decir, por cada tres ensayos reforzados, se presentó un ensayo Pico. Las sesiones se llevaron a cabo durante siete días a la semana (Orduña, García, Menez, Hong y Bouzas, 2008).

Se consideró como fase de adquisición a las primeras 50 sesiones. Durante las sesiones 51 a 60 se consideró que la conducta ya era estable. Una vez finalizada esta fase se procedió a la introducción de ensayos Pico con Interrupciones (segunda fase) en el 50% de los ensayos Pico, es decir, se redujo a ocho el número de ensayos Pico, cuatro para tono y cuatro para luz, y se introdujeron los ensayos Pico con Interrupciones, un total de ocho por sesión,

cuatro para luz y cuatro para tono. La interrupción de la señal se produjo al segundo quince del ensayo y tuvo una duración de 9 s. El orden y el número de ensayos IF se mantuvo igual que en la fase anterior. De igual forma se mantuvieron las condiciones de los IEE. Esta fase se mantuvo durante diez sesiones.

### *Análisis de Datos*

Sólo los datos registrados durante los ensayos Pico y los ensayos Pico con Interrupciones fueron utilizados en el análisis.

Adquisición. Se obtuvieron los valores de tasa pico, tiempo pico y ancho de función a través del ajuste de curva gaussiana con la siguiente ecuación (en SigmaPlot 11.0, Systat Software, Inc. Sigma Plot for Windows, 2012)

$$(a) \quad y = ae^{-0.5(X-X_0/b)^2}$$

para las primeras 50 sesiones (véase Figura 1 en Anexo), donde X es el tiempo desde el inicio del ensayo (en segundos);  $X_0$ , a y b son parámetros libres que expresan el tiempo pico, la tasa pico y la desviación estándar respectivamente (Orduña y Bouzas, 2011).

Conducta Estable (ensayos pico). Para las sesiones 51 a 60 se obtuvieron los valores de tasa pico, tiempo pico y ancho de función a través de la tasa de respuesta media en distribuciones de frecuencia con intervalos de uno y cinco segundos (Church, Meck y Gibbon 1994). La tasa pico fue la tasa máxima de respuesta en un segundo determinado para la distribución de frecuencia con intervalos de un segundo. La primera ocasión en que un segundo dado sobrepasaba el 50% de la tasa máxima de respuesta se denominó como t1 y la siguiente ocasión en que un segundo dado decrecía por debajo del 50% de la tasa máxima de respuesta se denominó como t2. El ancho de función fue determinado por la diferencia entre t1 y t2 (ancho = t2 - t1). El tiempo pico fue definido como el valor medio entre t1 y t2 (tiempo pico = (t2-t1)/2 + t1). La misma lógica se utilizó para la distribución de frecuencias con intervalos de cinco segundos (véase Figura 2 en Anexo). Las mismas tres medidas se obtuvieron al ajustar curvas gaussianas con la ecuación a y con la siguiente ecuación (MATLAB, 2004 versión 7.0)

$$(b) y = a1 * \exp(-((x-b1)/c1)^2)$$

donde  $x$  es el tiempo desde el inicio del ensayo (en segundos);  $b1$ ,  $a1$ , y  $c1$  son parámetros libres que expresan el tiempo pico, la tasa pico y la desviación estándar respectivamente. Nótese que el ajuste de curva gaussiana con la ecuación **b** no multiplica el exponente por 0.5, a diferencia del ajuste con la ecuación **a**.

En ensayos individuales los animales cambian abruptamente de un estado de tasa de respuesta bajo a un estado de tasa de respuesta alto. En los ensayos IF, los animales muestran una tasa de respuesta baja por algún tiempo y posteriormente incrementan la tasa de respuesta durante un periodo hasta que la comida es entregada, el llamado patrón de respuesta bajo-alto. En los ensayos Pico, se presenta un patrón similar al patrón presentado en los ensayos IF, sin embargo, en estos ensayos la comida no es entregada, provocando que el estado de tasa de respuesta alto se prolongue por más tiempo, para posteriormente regresar al estado de tasa de respuesta bajo, el llamado patrón de respuesta bajo-alto-bajo (Church et al., 1994). Para localizar dicho patrón en los ensayos individuales se utilizó el siguiente algoritmo

$$(c) \text{ Índice} = t1(r - r1) + t2(r2 - r) + t3(r - r3)$$

La función del algoritmo es maximizar la diferencia entre el estado de repuesta alto y los estados de respuesta bajos, probando de forma exhaustiva diferentes tiempos en los que podría localizarse el inicio ( $S1$ ) y el final ( $S2$ ) del estado de tasa de respuesta alto (véase Figura 3 Anexo). Donde  $t1$ , es el tiempo desde el inicio del ensayo hasta  $S1$ ,  $t2$  es el tiempo entre  $S1$  y  $S2$  ( $t2 = S2 - S1$ ),  $t3$  es el tiempo desde  $S2$  hasta el final del ensayo,  $r$  es la tasa de respuesta media durante el ensayo,  $r1$  es la tasa de respuesta media durante  $t1$ ,  $r2$  es la tasa de respuesta media durante  $t2$  y  $r3$  es la tasa de respuesta media durante  $t3$ . Los valores obtenidos a través de este algoritmo son el tiempo de inicio, el tiempo final, el tiempo medio y el ancho del estado de respuesta alto (start, stop, spread y middle en inglés). Los análisis de los valores obtenidos con este algoritmo incluyen pruebas de inferencia en donde se descartan aquellos ensayos que

presentaron malos inicios y malos finales, y donde no se descarta ningún ensayo. Se consideran buenos inicios aquellos tiempos que son iguales o menores al tiempo establecido para los IF, en este caso aquellos valores  $\leq$  a 30 s. Se consideran malos finales aquellos tiempos que son iguales o mayores a dos veces el tiempo establecido para los IF o que son menores al tiempo establecido para los IF, en este caso aquellos valores  $\geq$  a 61 s ó  $\leq$  a 30 s respectivamente (Church et al., 1994).

Segunda Fase (ensayos pico con interrupciones). Para las sesiones 1 a 10 se obtuvieron los valores de tasa pico, tiempo pico y ancho de función a través de la tasa de respuesta media en distribuciones de frecuencia con intervalos de uno y cinco segundos. Los mismos tres valores se obtuvieron al ajustar curvas con la ecuación **b** desde el segundo uno de cada sesión y desde el segundo 24 agrupando las diez sesiones. De igual manera se obtuvieron los valores de tiempo de inicio, tiempo final, tiempo medio y ancho del estado de respuesta alto a través del algoritmo **c**. Para evaluar los procesos mnémicos se utilizó la siguiente ecuación

$$(d) \text{ tiempo pico}^{\text{cambio}} = \text{ tiempo pico}^{\text{ensayos Pico con Interrupciones}} - \text{ tiempo pico}^{\text{ensayos Pico}}$$

modificada de Swearingen y Buhusi (2010). Donde el cambio de tiempo pico, fue obtenido restando el tiempo pico de los ensayos Pico al tiempo pico obtenido en los ensayos Pico con Interrupciones.

Todos los valores obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) mixtos en los que la modalidad de la señal (luz o tonos) serán factores intrasujeto, mientras que la pertinencia de la señal (3, 8 y 25 kHz), será factor entre sujetos. Para las pruebas de hipótesis se utilizó un nivel de significancia de 0.05.

## Resultados

Todos los estimados obtenidos fueron sometidos a ANOVA mixto (véase Tabla 1 en Anexo).

*Adquisición.* Los estimados obtenidos a partir del ajuste de función gaussiana con la ecuación **a** de las sesiones 11 a 50, muestra diferencias estadísticamente significativas en la variable ancho de función para el factor modalidad ( $F[1,9]=7.32$ ,  $p<0.05$ ), con  $16.36 \pm 5.74$  para luz y  $15.64 \pm 5.53$  para tonos. Las interacciones restantes entre factores no mostraron diferencias estadísticamente significativas (ver Figura 1). Dado que el ancho de función en el ajuste gaussiano es considerado como un estimado de la precisión del animal en la estimación temporal, este análisis sugieren que los animales se muestran más precisos en el desarrollo de la tarea ante las señales auditivas durante su aprendizaje.

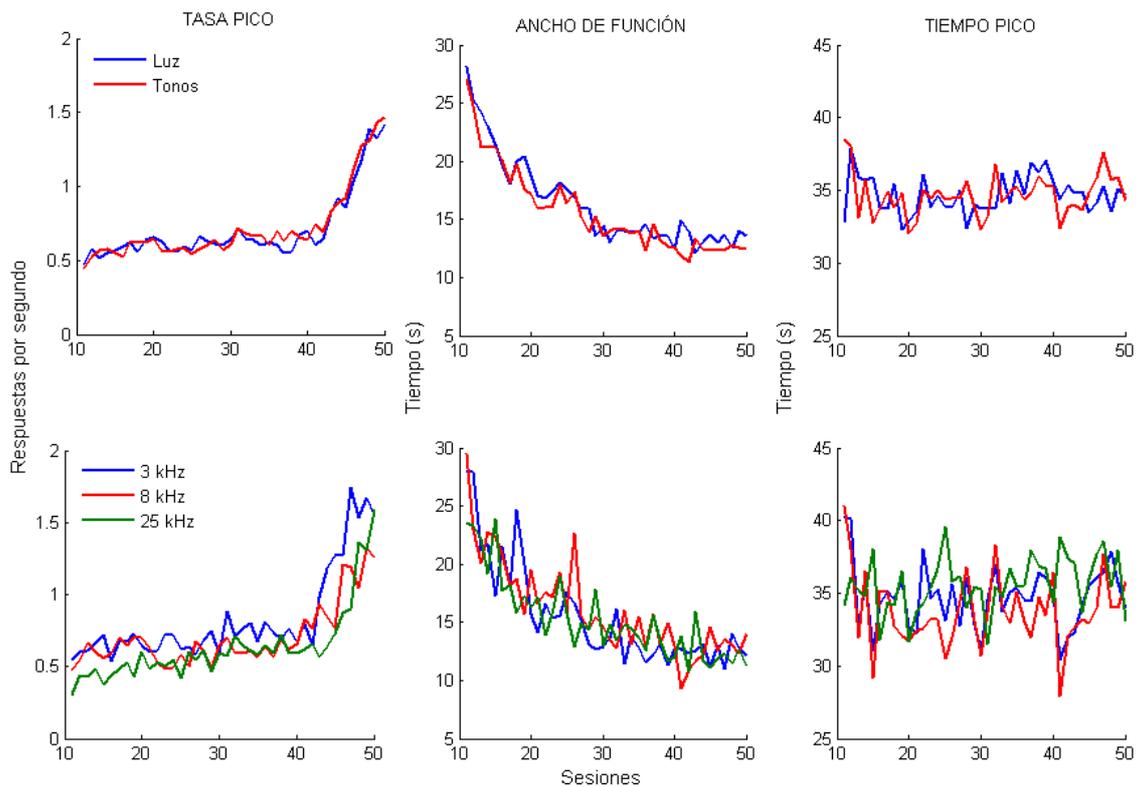


Figura 1. Adquisición. Se muestran las gráficas grupales de la sesión once a la sesión cincuenta de la fase de adquisición. En los paneles superiores se muestra la tasa pico (superior izquierdo), el ancho de función (medio superior) y tiempo pico (superior derecho) para la modalidad del estímulo, luz (azul) y tonos (rojo). En los paneles inferiores se muestra la tasa pico (inferior

izquierdo), el ancho de función (medio inferior) y tiempo pico (inferior derecho) para la pertinencia del estímulo, 3 kHz (azul), 8 kHz (rojo) y 25 kHz (verde).

*Conducta Estable.* Los estimados obtenidos del análisis de tasa de respuesta media en una distribución de frecuencia con intervalos de un segundo, para las sesiones 51 a 60 no mostraron diferencias estadísticamente significativas. Sin embargo, los estimados obtenidos del análisis de tasa de respuesta media en una distribución de frecuencia con intervalos de cinco segundos, para las mismas sesiones mostraron diferencias estadísticamente significativas en tasa de respuesta debidas al factor modalidad ( $F[1,9]=6.56$ ,  $p<0.05$ ), con  $53.13 \pm 14.71$  para luz y  $55.25 \pm 15.62$  para tonos. De igual forma, el factor modalidad indicó diferencias estadísticamente significativas en el ancho de función ( $F[1,9]=5.5$ ,  $p<0.05$ ), con  $29.92 \pm 13.63$  para luz y  $28.13 \pm 9.72$  para tonos. Los factores restantes y sus interacciones no mostraron diferencias estadísticamente significativas.

Por otra parte, los estimados obtenidos a partir del ajuste de función gaussiana con la ecuación **a**, para las sesiones 51 a 60, mostraron diferencias estadísticamente significativas en tasa de respuesta en las diferentes modalidades ( $F[1,9]=11.81$ ,  $p<0.05$ ), con  $1.5 \pm 0.43$  para luz y  $1.57 \pm 0.46$  para tonos. Asimismo, el factor modalidad provocó diferencias estadísticamente significativas en ancho de función ( $F[1,9]=13.64$ ,  $p<0.05$ ) con  $12.16 \pm 2.06$  para luz y  $11.46 \pm 2.01$  para tonos. No existieron valores estadísticamente significativos para los demás factores y sus interacciones.

De acuerdo al ajuste de función gaussiana con la ecuación **b**, tasa de respuesta se vio afectada por la modalidad ( $F[1,9]=9.85$ ,  $p<0.05$ ), con  $10.42 \pm 3$  para luz y  $10.86 \pm 3.23$  para tonos. Otra diferencia estadísticamente significativa se dio en el ancho de función para las diferentes modalidades ( $F[1,9]=18.65$ ,  $p<0.05$ ), con  $17.37 \pm 2.92$  para luz y  $16.45 \pm 3.04$  para tonos. A diferencia del ajuste de función gaussiana con la ecuación **a**, el ajuste con la ecuación **b** mostró diferencias estadísticamente significativas en el factor pertinencia para la variable ancho de función ( $F[2,9]=5.6$ ,  $p<0.05$ ). Análisis post-hoc (Fisher) mostraron diferencias estadísticamente significativas para el grupo de 3 kHz ( $17.99 \pm 0.11$  para luz y  $16.53 \pm 0.21$  para el tono de 3 kHz,  $p<0.05$ ) y para el grupo de 25 kHz ( $16.88 \pm 2.28$  para luz y  $15.49 \pm 2.22$  para el tono de 25 kHz,

$p < 0.05$ ). No se mostraron otras interacciones estadísticamente significativas (ver Figuras 2 y 3).

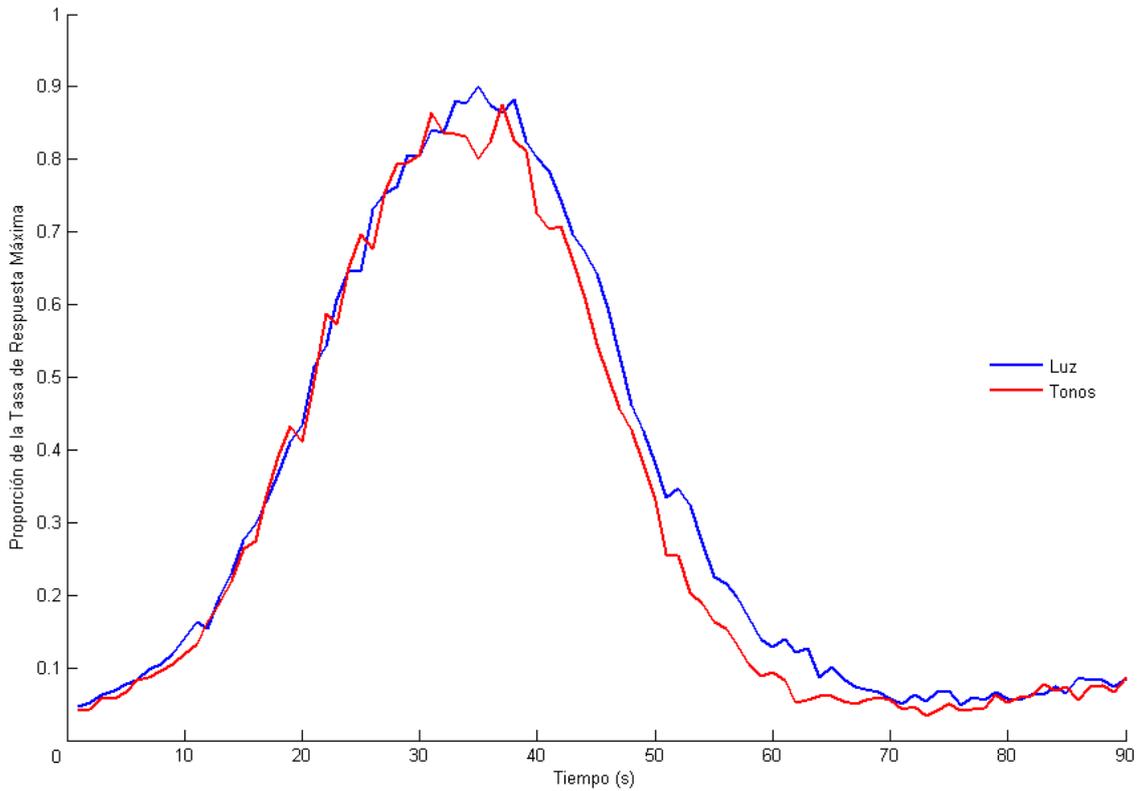


Figura 2. Modalidad en ensayos Pico. En la ordenada la proporción de la tasa de respuesta máxima y en la abscisa el tiempo en segundos. Se muestra la grafica grupal de las sesiones 51 a 60; luz (azul) vs tonos (rojo).

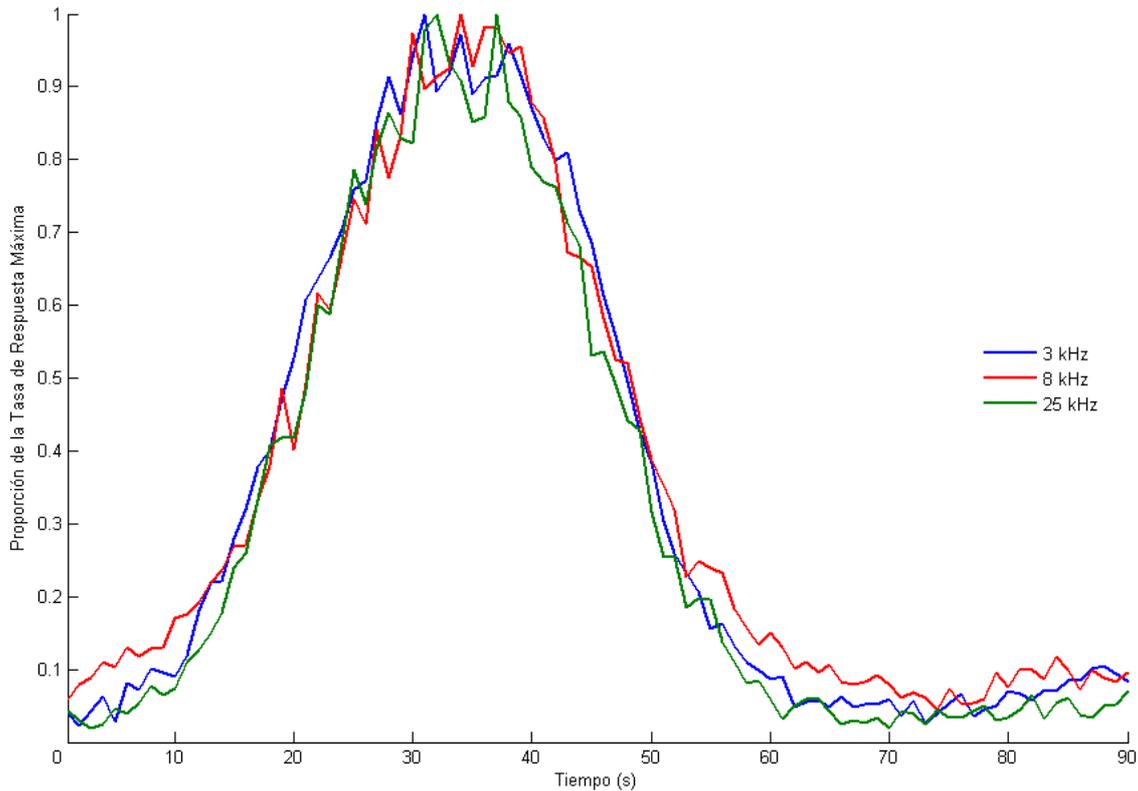


Figura 3. Pertinencia en ensayos Pico. En la ordenada la proporción de la tasa de respuesta máxima y en la abscisa el tiempo en segundos. Se muestra la grafica grupal de las sesiones 51 a 60; tono de 3 kHz (azul) vs tono de 8 kHz (rojo) vs tono de 25 kHz (verde).

Los estimados obtenidos a partir del análisis de ensayos individuales son el tiempo inicial, el tiempo final, el tiempo medio y el ancho del estado de tasa de respuesta alto del patrón bajo-alto-bajo. Debido a que Church et al. (1994) no menciona un motivo por el cual descartar malos inicios y malos finales, se sometieron a pruebas estadísticas el conjunto de datos donde se incluyen todos los estimados obtenidos y el conjunto de datos donde se descartan malos inicios y malos finales. No existieron valores estadísticamente significativos para ninguno de los factores ni sus interacciones (ver Figuras 4 y 5).

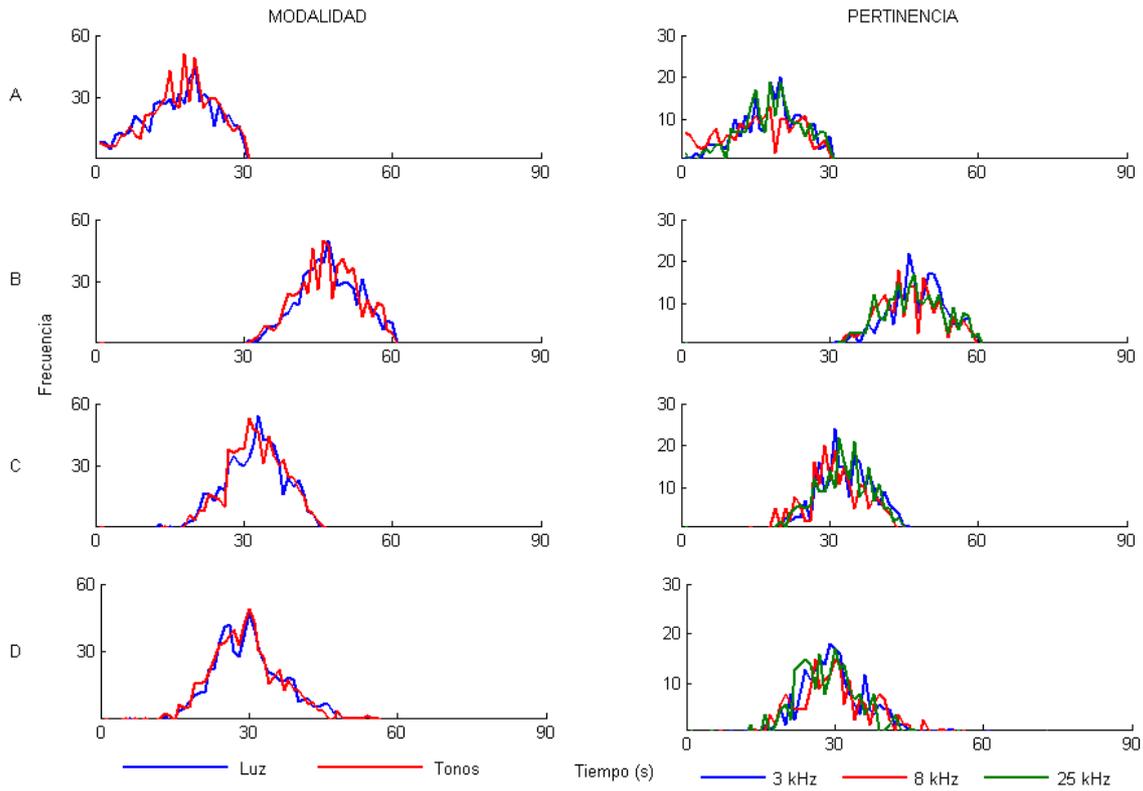


Figura 4. Ensayos Individuales con anulación. En estos polígonos de frecuencia el eje de las ordenadas la señala frecuencia y el eje de las abscisas señala el tiempo en segundos. Los paneles de la izquierda pertenecen a modalidad y los paneles a la derecha pertenecen a pertinencia. En cada panel a la izquierda, luz (azul) vs tonos (rojo). En cada panel a la derecha, el tono de 3 kHz (azul) vs el tono de 8 kHz (rojo) vs el tono de 25 kHz (verde). En (A) los tiempos de inicio. En (B) los tiempos finales. En (C) los tiempos medios. En (D) el ancho de estado de tasa de respuesta alto. Estos polígonos de frecuencia se basaron en los datos donde se descartaron ensayos por malos inicios o malos finales.

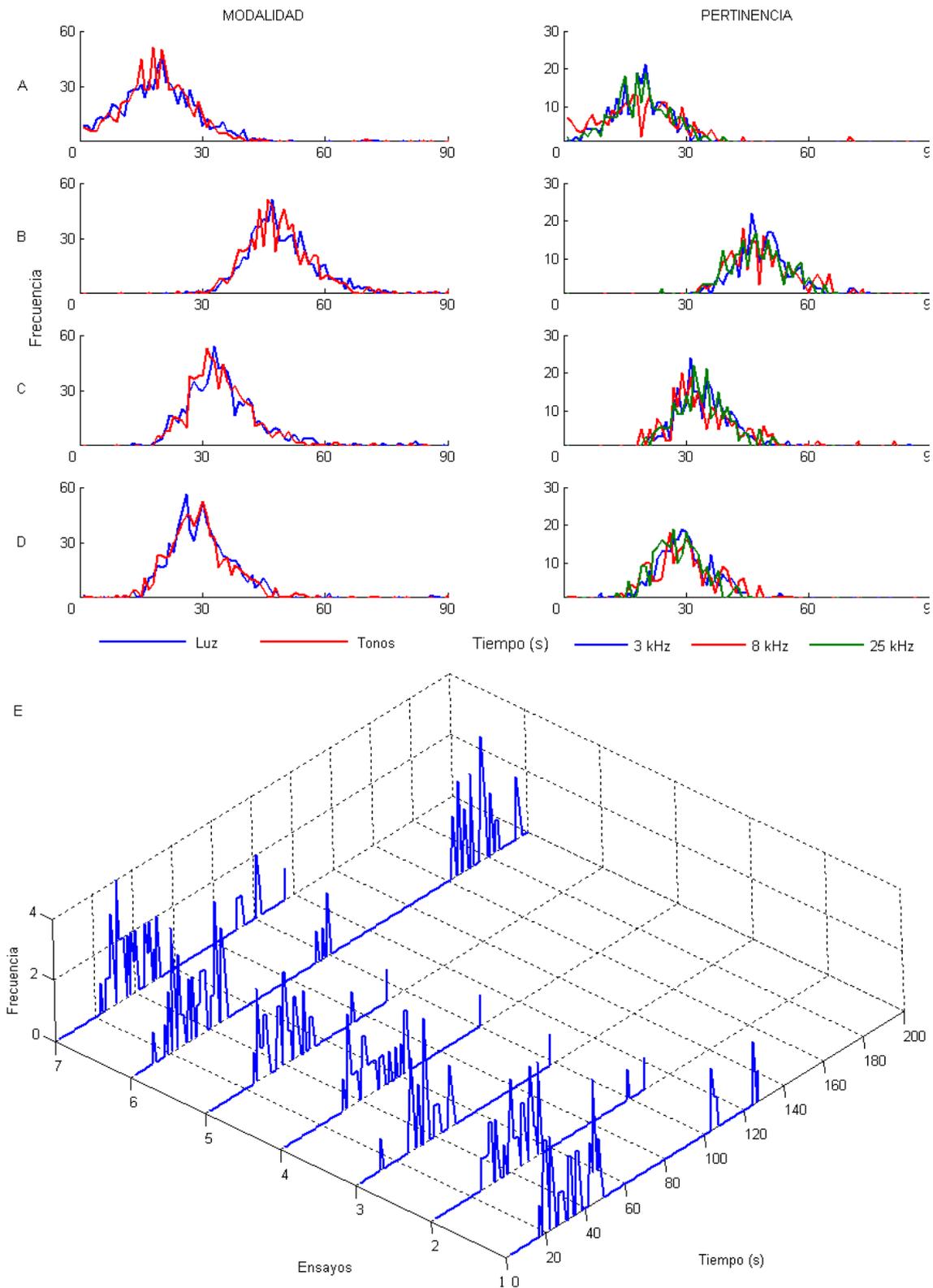


Figura 5. Ensayos Individuales sin anulación. En estos polígonos de frecuencia el eje de las ordenadas señala la frecuencia y el eje de las abscisas señala el tiempo en segundos. Los paneles de la izquierda pertenecen a modalidad y los paneles a la derecha pertenecen a pertinencia. En cada panel a la izquierda, luz (azul) vs tonos (rojo). En cada panel a la derecha,

el tono de 3 kHz (azul) vs el tono de 8 kHz (rojo) vs el tono de 25 kHz (verde). En (A) los tiempos de inicio. En (B) los tiempos finales. En (C) los tiempos medios. En (D) el ancho de estado de tasa de respuesta alto. Estos polígonos de frecuencia se basaron en los datos donde no se descartaron ensayos por malos inicios o malos finales. Un ejemplo se muestra en (E) de los polígonos de frecuencia por ensayos en una sesión determinada. El eje x señala el tiempo en segundos, el eje y el número de ensayo y el eje z la frecuencia. La señal a estimar fue luz.

*Ensayos Pico con Interrupciones.* Los estimados obtenidos del análisis de tasa de respuesta media en una distribución de frecuencia con intervalos de un segundo, de las sesiones 1 a 10 en la fase de ensayos Pico con Interrupciones, mostraron una diferencia estadísticamente significativa en el ancho de función con relación al factor modalidad ( $F[1,9]=5.32$ ,  $p<0.05$ ), con  $45.66 \pm 34.91$  para luz y  $39.48 \pm 33.42$  para tonos. También se observaron diferencias estadísticamente significativas para el ancho de función con relación a la pertinencia ( $F[2,9]=7.55$ ,  $p<0.05$ ). El análisis post-hoc (Fisher) señaló diferencias estadísticamente significativas para el grupo de 3 kHz, con  $61.78 \pm 1.26$  para luz y  $41 \pm 18.73$  para el tono de 3 kHz ( $p<0.05$ ). No existieron más relaciones estadísticamente significativas.

A diferencia del análisis de tasa de respuesta media en una distribución de frecuencia con intervalos de un segundo, el análisis de tasa de respuesta media en una distribución de frecuencia con intervalos de cinco segundos no mostró diferencias estadísticamente significativas debidas al factor modalidad en la variable ancho de función; sin embargo, se encontraron diferencias estadísticamente significativas para el ancho de función con relación al factor pertinencia ( $F[2,9]=7.18$ ,  $p<0.05$ ). El análisis post-hoc (Fisher) mostró que las diferencias significativas correspondían al grupo de 3 kHz ( $44.38 \pm 4.87$  para luz y  $33.38 \pm 5.12$  para el tono de 3 kHz,  $p<0.05$ ) y al grupo de 8 kHz ( $31.83 \pm 11.34$  para luz y  $41.33 \pm 19.26$  para el tono de 8 kHz,  $p<0.05$ ). No existieron valores estadísticamente significativos en las otras relaciones.

Para el ajuste de función gaussiana con la ecuación **b**, el factor modalidad provocó diferencias estadísticamente significativas en el tiempo pico ( $F[1,9]=12.51$ ,  $p<0.05$ ), con  $35.29 \pm 6.37$  para luz y  $37.75 \pm 8.75$  para tonos.

Hasta este punto en los resultados de las sesiones de ensayos Pico con Interrupción, los ensayos fueron analizados de igual forma que los ensayos Pico. No obstante, el análisis tradicional considera el ajuste de la curva

gaussiana a partir de la finalización de la interrupción, por lo que, utilizando la ecuación **b**, se ajustaron curvas gaussianas para los ensayos considerando únicamente la información posterior a la interrupción, es decir, a partir del segundo 24. Se obtuvieron los tiempos pico y se sometieron a ANOVA mixto. Los resultados indican que no existen diferencias estadísticamente significativas. (ver Figuras 6 y 7).

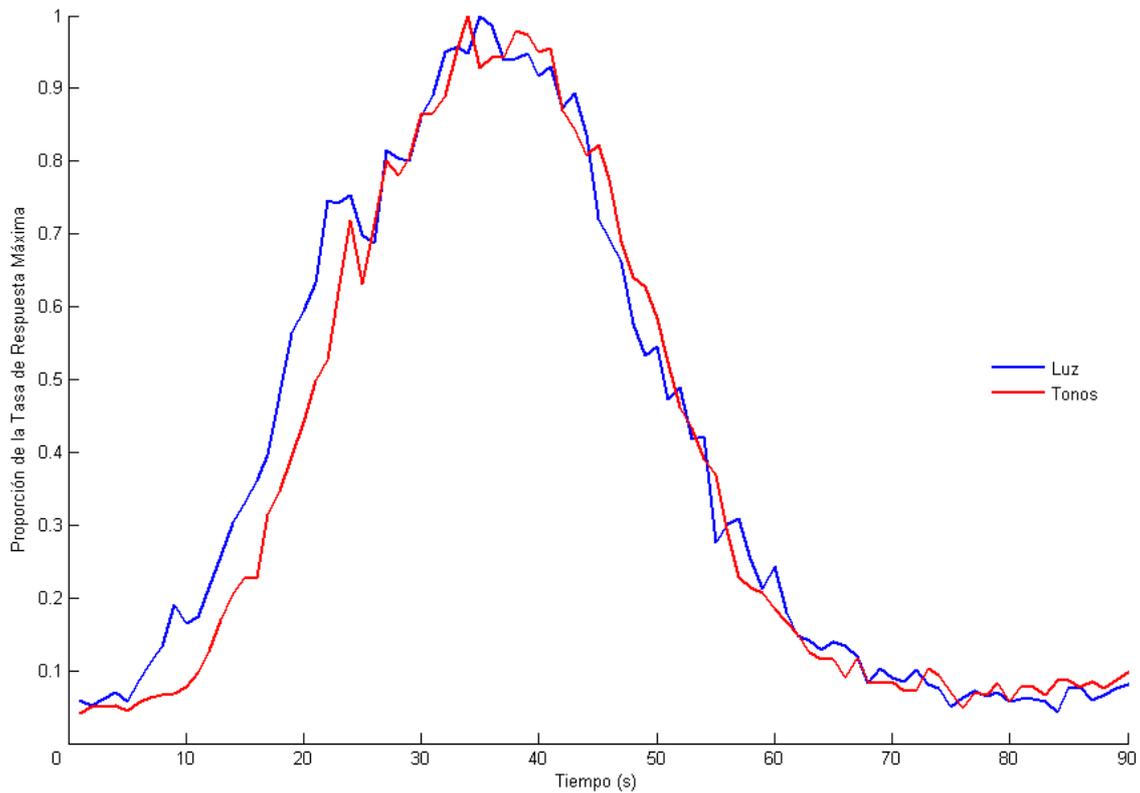


Figura 6. Modalidad en ensayos Pico con Interrupciones. En la ordenada la proporción de la tasa de respuesta máxima y en la abscisa el tiempo en segundos. Se muestra la grafica grupal de las sesiones 1 a 10, luz (azul) vs tonos (rojo).

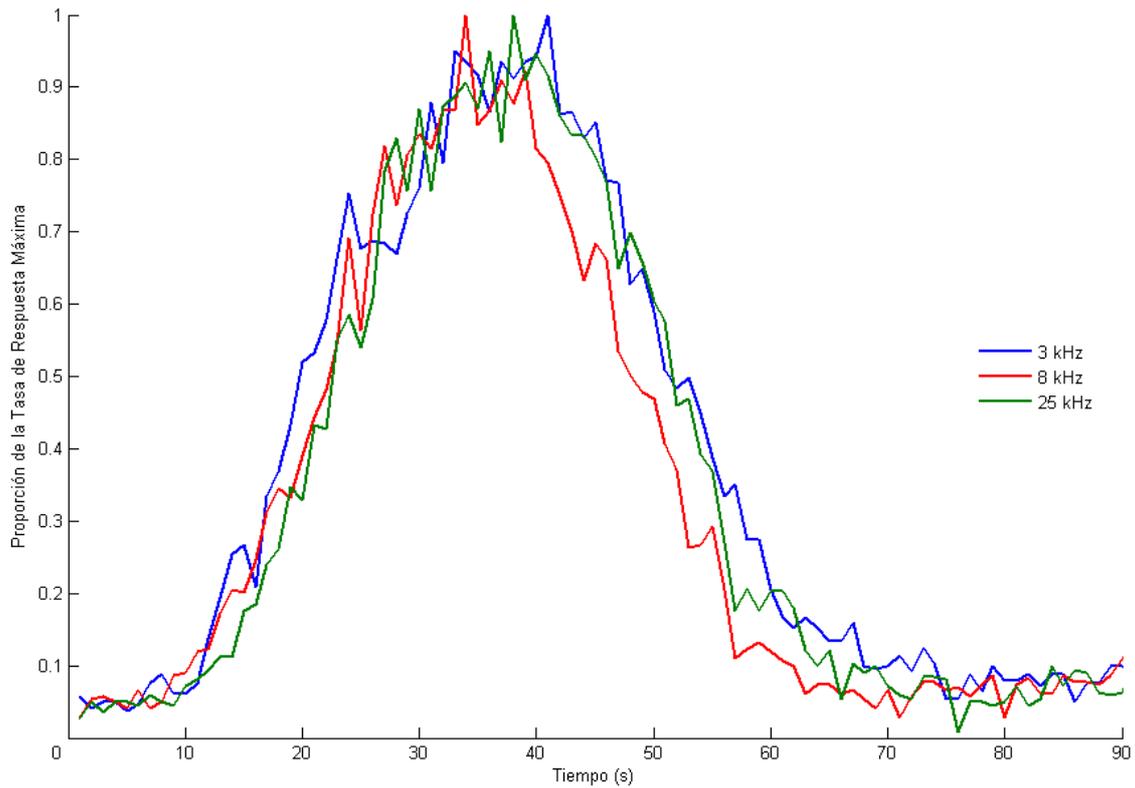


Figura 7. Pertinencia en ensayos Pico con Interrupciones. En la ordenada la proporción de la tasa de respuesta máxima y en la abscisa el tiempo en segundos. Se muestra la grafica grupal de las sesiones 1 a 10, tono de 3 kHz (azul) vs tono de 8 kHz (rojo) vs tono de 25 kHz (verde).

Los estimados obtenidos a partir del análisis de ensayos individuales no mostraron diferencias estadísticamente significativas (ver Figura 8).

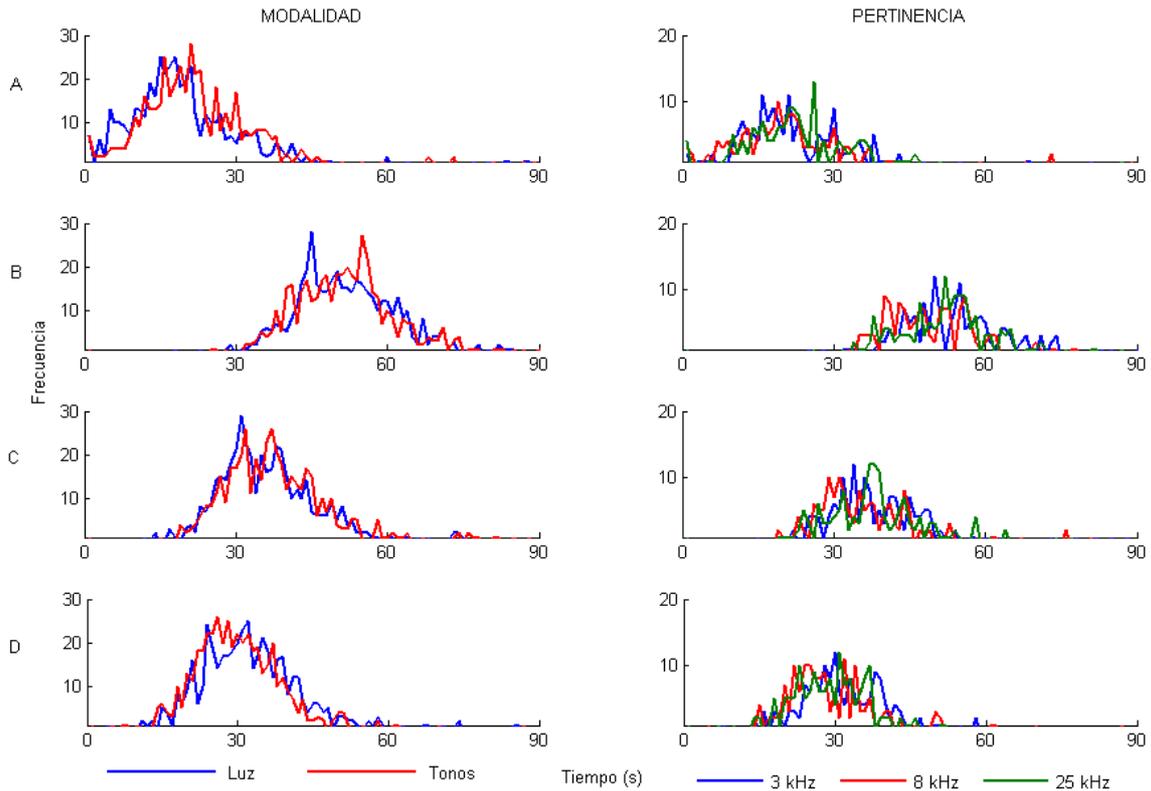


Figura 8. Ensayos Individuales con Interrupción. En estos polígonos de frecuencia el eje de las ordenadas la señala frecuencia y el eje de las abscisas señala el tiempo en segundos. Los paneles de la izquierda pertenecen a modalidad y los paneles a la derecha pertenecen a pertinencia. En cada panel a la izquierda, luz (azul) vs tonos (rojo). En cada panel a la derecha, el tono de 3 kHz (azul) vs el tono de 8 kHz (rojo) vs el tono de 25 kHz (verde). En (A) los tiempos de inicio. En (B) los tiempos finales. En (C) los tiempos medios. En (D) el ancho de estado de tasa de respuesta alto.

Finalmente, los desplazamientos obtenidos a partir de la ecuación **d** y el análisis de tasa de respuesta media en una distribución de frecuencia con intervalos de un segundo, mostraron diferencias estadísticamente significativas en el desplazamiento del tiempo pico debido al factor pertinencia ( $F[2,9]=7.53$ ,  $p<0.05$ ). Análisis post-hoc (Fisher) mostraron que las diferencias pertenecían al grupo de 25 kHz, con  $-5.71 \pm 20.98$  para la luz y  $8.54 \pm 18.16$  para el tono de 25 kHz ( $p<0.05$ ).

Utilizando el análisis de tasa de respuesta media en una distribución de frecuencia con intervalos de cinco segundos, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas para ningún factor.

Discordante a los restantes análisis, los desplazamientos obtenidos desde el ajuste gaussiano para todo el ensayo, mostraron diferencias estadísticamente

significativas para el factor modalidad ( $F[1,9]=6.58$ ,  $p=0.03$ ), con  $0.7 \pm 7.32$  para la luz y  $2.52 \pm 9.1$  para los tonos; y para la interacción entre pertinencia y desplazamiento del tiempo pico ( $F[2,9]=11.1$ ,  $p<0.05$ ). El análisis post-hoc (Fisher) indicó que las diferencias estadísticamente significativas eran mostradas por el grupo de 25 kHz, con  $-0.65 \pm 6.45$  para la luz y  $5.51 \pm 12.26$  para el tono de 25 kHz ( $p<0.05$ ).

En el último análisis, donde se ajustaron curvas gaussianas considerando la tasa de respuesta a partir de la finalización de la interrupción (segundo 24), el ANOVA mostró diferencias estadísticamente significativas en el desplazamiento del tiempo pico como función de la pertinencia ( $F[2,9]=6.02$ ,  $p<0.05$ ). El análisis post-hoc (Fisher) indicó diferencias estadísticamente significativas en el grupo de 25 kHz, con  $2.46 \pm 6.03$  para la luz y  $7.31 \pm 12.12$  para el tono de 25 kHz ( $p<0.05$ ) (ver Figura 9).

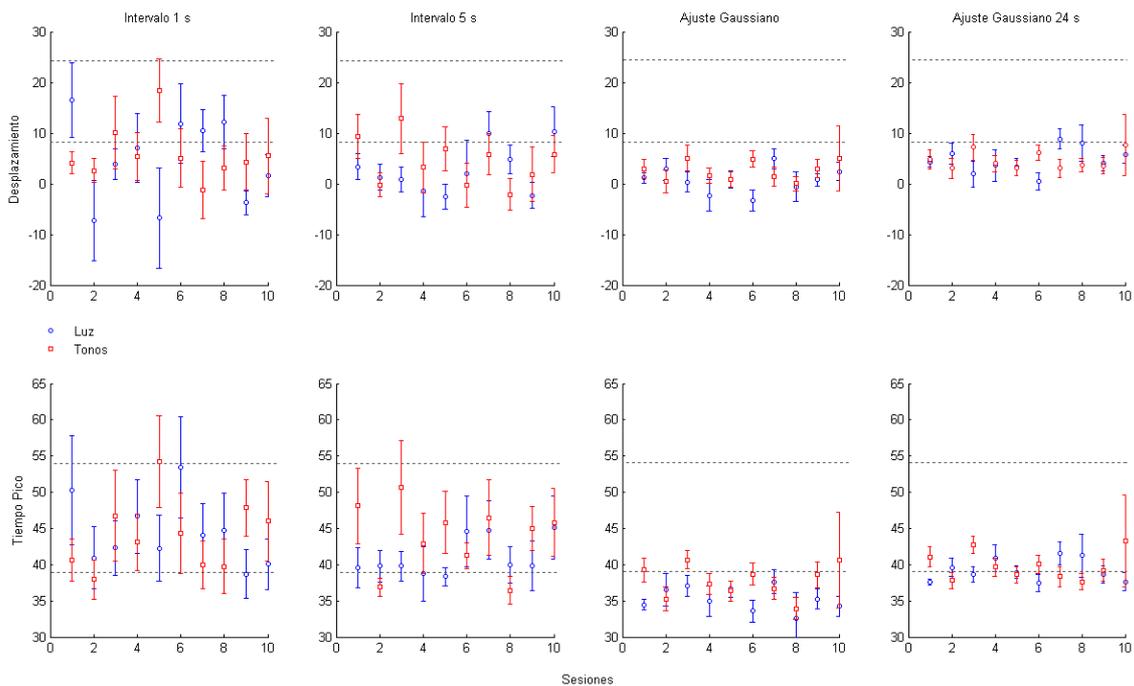


Figura 9. Desplazamiento del tiempo pico. En los paneles superiores la ordenada señala el desplazamiento neto en segundos, en los paneles inferiores la ordenada señala los tiempo pico. En todos los paneles la abscisa señala el número de sesión. Los paneles superiores muestran el desplazamiento neto en segundos, obtenidos al restar el tiempo pico de los ensayos Pico al tiempo pico de los ensayos Pico con Interrupciones. Los paneles inferiores muestran los tiempos pico obtenidos a partir de los ensayos Pico con Interrupciones. En azul los tiempos pico para luz y en rojo los tiempos pico para tonos. Las líneas punteadas señalan los tiempos teóricos para las hipótesis de paro (línea punteada inferior) y reinicio (línea punteada superior) del reloj interno.

Se muestran los resúmenes de los tiempos pico obtenidos a partir de los análisis de tasa de respuesta media en intervalos de un segundo, cinco segundos, ajuste gaussiano para todo el ensayo y ajuste gaussiano considerando la información a partir del segundo 24. Las barras indican el error estándar.

## Discusión

Con base en el análisis de ensayos individuales y debido a la carencia de uniformidad en los resultados estadísticos, este experimento no apoya la hipótesis planteada, es decir, los juicios temporales y los posibles procesos mnémicos implicados no se ven alterados por la modalidad o pertinencia del estímulo, no obstante algunos trabajos (Roberts et al., 1989; Grondin y Rosseau, 1991; Penney et al., 2000, Buhusi et al., 2005) sugieren lo contrario.

Las discrepancias mostradas con respecto a otros trabajos pueden derivarse de diferencias entre especies, procedimientos y/o análisis de datos. Por ejemplo, Roberts et al. (1989) utilizaron tareas de discriminación temporal y procedimientos de Pico en palomas. En un primer experimento, encontraron que estos animales aprenden más rápido a discriminar las señales visuales en comparación con las señales auditivas. En este mismo trabajo, experimentos posteriores, mostraron que el desempeño de los animales es menos preciso en procedimientos de Pico en presencia de señales auditivas. Debido a diferencias con estudios previos (Meck y Church, 1982; Roberts, 1982) Roberts et al. (1989) proporcionan varias alternativas para explicar sus resultados. La primera de ellas es, que las palomas son más lentas en la formación o reconocimiento de relaciones entre la duración de la señales auditivas y la representación abstracta de la duración temporal en comparación, con dicha relación para las señales visuales. La segunda es, que existe una dominancia de las señales visuales sobre las señales auditivas con respecto a los procesos atencionales. Una tercera es, que podrían existir diferentes estrategias en la estimación temporal entre las diferentes especies, en particular, entre ratas y palomas. Una última alternativa sugerida fue, que las diferencias mostradas fueran producto de los distintos procedimientos empleados en los diferentes laboratorios. Por su parte, Grondin y Rosseau (1991) utilizaron tareas de discriminación temporal en humanos. Ellos encontraron que el desempeño en este tipo de tareas difería en relación al tipo de modalidad sensorial, es decir, en función de la modalidad del

estímulo. Aún más, encontraron que las variaciones intramodales de los estímulos afectaban el desempeño de los sujetos. Sus resultados los llevaron a proponer que podrían estar involucrados dos tipos de procesador en la discriminación de la duración, uno relacionado específicamente con la modalidad sensorial, mientras que otro sería específico de la discriminación intramodal. En el trabajo de Penney et al. (2000) se comparó el desempeño de estudiantes universitarios ante señales auditivas versus visuales en tareas de bisección temporal. Cuando las señales auditivas y visuales eran presentadas en una misma sesión experimental, los estudiantes estimaban una duración más larga ante señales auditivas, sin embargo, los estudiantes no mostraban diferencias cuando se presentaban señales de una sola modalidad en la sesión experimental. En este trabajo se postuló que la modalidad de la señal modificaba la frecuencia de funcionamiento del reloj interno. El estudio más relevante para este trabajo, dada su similitud, fue el llevado a cabo por Buhusi et al. (2005), donde se utilizaron roedores de dos cepas distintas y probaron, a través de procedimientos de Pico y procedimientos de Pico con Interrupciones, la relevancia de la modalidad de los estímulos en la estimación temporal y los procesos de memoria implicados. En este trabajo se concluyó que, dadas las diferencias entre ambas cepas de roedores, las estrategias de estimación temporal se veían afectadas por la relevancia de la señal a estimar, tanto en procedimientos Pico como en procedimientos de Pico con Interrupciones.

En acuerdo con el trabajo de Roberts et al. (1989), nuestros datos reflejan diferencias en la fase de adquisición con respecto a la precisión en ejecución, sin embargo, a diferencia de las palomas, las ratas parecen desempeñarse de manera más precisa ante las señales auditivas (Figura 1 en Resultados), probablemente debido a las características de los organismos. Por otra parte, el trabajo de Penney et al. (2000) señala que el efecto de modalidad se presenta cuando se mezclan ambos tipos de señales, auditivas y visuales. En acuerdo a este hallazgo, nuestros análisis podrían sugerir diferencias en la tasa de respuesta y el ancho de función, lo cual implicaría que las ratas muestran mayor precisión en su desempeño ante las señales auditivas, en particular ante el tono de 25 kHz, sin embargo, el análisis de ensayos individuales no muestra estas diferencias. Las discrepancias y similitudes con respecto a los tres primeros trabajos (Roberts et al., 1989; Grondin y Rosseau, 1991; Penney et al., 2000)

sugiere considerar a los organismos utilizados, es decir, las diferencias entre especies. Los organismos podrían utilizar estrategias distintas en la estimación temporal basadas en sus capacidades biológicas y las características particulares de su entorno natural. Por ejemplo, las relaciones entre la duración de las guías visuales, auditivas, olfativas, y la representación de la duración temporal podría ser distinta en roedores, debido a que son animales nocturnos, que carecen de visión a color y tienen poca agudeza visual (Prusky y Douglas, 2005, citados en Shettleworth, 2010), probablemente las señales olfativas o auditivas tengan mayor relevancia en el entorno de estos organismos, y por lo tanto, una representación temporal más adecuada (Fortin, Agster y Eichenbaum, 2002). Adicionalmente, los mecanismos biológicos subyacentes propios de cada especie podrían conducir a una codificación distintiva de la temporalidad de los eventos. Sin embargo, debido a que la estimación temporal ha sido mostrada en gran variedad de organismos (Brockie et al., 2001; Gould, 1988; Lejeune y Wearden, 1991), es probable que los mecanismos biológicos subyacentes a aquellos procesos que permiten la estimación temporal sean compartidos y no delimitados a una especie.

Hasta este punto en la discusión, se han propuesto alternativas con base en argumentos que enfatizan diferencias en procedimientos y organismos utilizados, por otra parte, la comparación con el trabajo Buhusi et al. (2005) da lugar a considerar los distintos procedimientos empleados en los diferentes laboratorios, en especial, en el análisis de datos. Tomar en cuenta que, 1) dos grupos de datos gráficamente distintos pueden tener la misma medida de tendencia central y la misma dispersión (Kerlinger y Lee, 2002), 2) que cada vez que se agrupan los datos se pierde un poco de información y que mientras más amplios sean los intervalos de frecuencia mayor será la pérdida (Pagano, 2006), 3) que las distribuciones de frecuencia no corresponden completamente a una distribución gaussiana simétrica (Sanabria y Killeen, 2007), 4) que se da la posibilidad de un artefacto debido a la acumulación de ensayos (Swearingen y Buhusi, 2010) y 5) que la tasa máxima de respuesta no corresponde al tiempo de reforzamiento (Church et al., 1994), dio lugar a la examinación de los datos probando distintos análisis. Una contrastación posterior de las gráficas grupales (Figuras 2, 3, 6 y 7 en Resultados), el ajuste gaussiano sobre la agrupación de datos individuales (Figuras 1 y 4 en Anexo), los histogramas obtenidos (Figuras

2 y 4 en Anexo), los polígonos de frecuencia de ensayos individuales (Figura 5E en Resultados y figura 6 en Anexo) y las figuras mostradas en el trabajo de Buhusi et al. (2005), sugiere una reflexión sobre las posibles alteraciones de los datos a través de los análisis matemáticos. Por ejemplo, se puede observar en el trabajo de Buhusi et al. (2005) el uso de distribuciones de frecuencia con intervalos de 5 segundos y la combinación de un modelo gaussiano en conjunción con uno lineal en el ajuste de curvas, tanto para ensayos pico como para ensayos pico con interrupción. Nótese que para ensayos Pico analiza desde el comienzo del ensayo, mientras que para los ensayos Pico con Interrupción analiza desde la finalización de la interrupción. No obstante, el uso de distintos intervalos, diferentes ajustes y la consideración de información en las distribuciones, podría llevar a diferentes estimados y por consecuencia a diferentes conclusiones (Figura 9 en Resultados y figura 4 en Anexo). Aunado a la carencia de uniformidad mostrada en nuestros resultados, un análisis posterior a través de pruebas t para muestras independientes, muestra diferencias estadísticamente significativas para los tiempos pico estimados por el análisis de tasa de respuesta media en una distribución de frecuencia con intervalos de un segundo versus los tiempos pico estimados por el ajuste gaussiano con la ecuación **a** ( $p < 0.001$ ). De igual manera, una comparación entre los tiempos pico estimados por el análisis de tasa de respuesta media en una distribución de frecuencia con intervalos de cinco segundos versus los tiempos pico estimados por el ajuste gaussiano con la ecuación **a**, muestra diferencias estadísticamente significativas ( $p < 0.0$ ). Las comparaciones entre los tiempos pico para las distribuciones de frecuencia y aquellos obtenidos por los ajustes de la ecuación **b**, muestran diferencias estadísticamente significativas de la misma magnitud. Estas comparaciones sugieren que el análisis matemático por sí mismo modifica los datos de forma significativa, y por consecuente podría llevar a conclusiones completamente distintas. Se abre entonces la pregunta sobre cuál es la forma más apropiada de analizar la información y cuál análisis refleja con mayor precisión la conducta de los animales.

A pesar del cúmulo de estudios que señalan interacciones entre la modalidad del estímulo y algún aspecto de la memoria (Kraemer y Roberts, 1984; Kraemer y Roberts, 1985; Greene, 1992; Lustig y Meck, 2011), nuevamente, con base en el análisis de ensayos individuales y debido a la carencia de uniformidad en los

resultados estadísticos, nuestros resultados no apoyan dichas proposiciones para los procesos mnémicos implicados en la estimación temporal, en particular, con respecto a la memoria de trabajo. Diferencias entre especies, procedimientos y/o análisis de datos podría de nueva cuenta solventar estas discordancias. Sin embargo, una alternativa basada en el aprendizaje discriminativo en conjunto con la idea de señales multicompuestas o estímulo configuracional, podría explicar el comportamiento de los animales en los ensayos Pico con Interrupciones. En síntesis, el aprendizaje discriminativo es una propuesta hecha por Kenneth Spence, la cual enuncia que el reforzamiento de una respuesta en presencia del estímulo positivo condiciona respuestas excitadoras ante el estímulo positivo; consecuentemente, el no reforzamiento de la respuesta durante el estímulo negativo condiciona propiedades inhibitoras ante el estímulo negativo que ayudan a suprimir la conducta instrumental (citado en Domjan, 2010). Por otra parte, la luz general más la luz del led o la luz general más el tono podrían funcionar como un estímulo compuesto, diferente a un único estímulo auditivo o visual. Siguiendo este razonamiento, el estímulo compuesto de la luz general más el tono o la luz del led corresponde al estímulo positivo, cuya presencia indica la entrega de reforzador y condiciona respuestas excitadoras, en contraposición, la ausencia del estímulo positivo y las condiciones de la cámara operante corresponden al estímulo negativo, el cual indica la no entrega de reforzador y condiciona respuestas inhibitoras. Desde la perspectiva del aprendizaje discriminativo, el comportamiento emitido en los ensayos Pico y los ensayos de IF, donde el animal responde ante la señal a estimar y deja de responder en los intervalos entre ensayos, refleja aquello aprendido durante las condiciones de entrenamiento. No obstante, durante la pausa en los ensayos Pico con Interrupción se presenta una condición ambiental novedosa para el animal, es decir, la luz general sin la presencia del tono o la luz del led. En acuerdo con Kaiser et al. (2002), el uso de la luz general evita la ambigüedad instruccional, al indicarle al animal que no se trata de un IEE. Sin embargo, dado que esta condición ambiental es novedosa y cuya instrucción no ha sido señalada por el reforzador, la emisión de cualquier patrón conductual es posible a corto plazo, mientras que a largo plazo indicaría la ausencia de reforzador. Esta alternativa puede tener apoyo al considerar varios trabajos donde se muestra aprendizaje discriminativo. Kearns et al. (2005)

probaron la administración de cocaína en ratas en ensayos de prueba durante la presentación de un tono solo o en presencia del tono más una luz. El grupo experimental había recibido previamente un entrenamiento discriminativo en que el tono solo se presentaba en los ensayos reforzados, mientras que el tono acompañado por la luz sólo ocurría en los ensayos no reforzados. El grupo control recibió un entrenamiento previo similar, pero en su caso la luz se presentó con la misma frecuencia en los ensayos reforzados y en los ensayos no reforzados. Los resultados mostraron que la tasa de respuesta de los ensayos del tono solo versus el tono más la luz para el grupo experimental fueron estadísticamente significativos, mientras que para el grupo control, la tasa de respuesta no fue modificada. En otro experimento en el marco del condicionamiento pavloviano, Fetsko, Stebbins, Gallagher y Colwill (2005), observaron una disminución de las respuestas del animal en ausencia del estímulo modulador. Brevemente, se registraron las entradas de la cabeza de los animales al comedero ante un estímulo compuesto por una luz más un sonido, el cual señalaba la entrega de comida, más tarde, en la fase experimental se probaron la luz y el tono por separado. Los resultados mostraron que las entradas al comedero disminuyeron considerablemente para los estímulos solos en comparación con las entradas al comedero cuando los estímulos fueron presentados juntos. Al aplicar la teoría de Spence sobre el aprendizaje discriminativo en los ensayos Pico con Interrupción, las ratas aprendieron una tarea con base en el estímulo configuracional o en ausencia de éste, pero no aprendieron instrucción alguna ante la presencia de un solo estímulo, es decir, durante la pausa. Al igual que en los trabajos de Kearns et al. (2005) y Fetsko et al. (2005), nuestras gráficas (Figuras 6 y 7 en Resultados) y las figuras 1 y 3 en Buhusi et al. (2005) presentan una disminución en la tasa de respuesta alrededor de la pausa en los ensayos Pico con Interrupción, es decir, donde aparece una condición nueva. Contrariamente, en el trabajo de Cabeza de Vaca et al. (1994), donde no se considera la ambigüedad instruccional, la tasa de respuesta es nula durante la interrupción (Figura 2), dando lugar a la posibilidad de que los animales iguallen el IEE con la interrupción, lo cual significa, que el estímulo negativo (las condiciones del IEE) suprime la conducta instrumental.

Aunque los resultados obtenidos en los ensayos Pico con Interrupciones presumiblemente reflejan la operación del reloj interno y la memoria de trabajo (Roberts, 1981), un análisis de nuestros resultados sugiere la reevaluación de estas inferencias. En primera instancia, nuestro análisis de ensayos individuales descarta la posibilidad de la detención o re-inicio del reloj interno a manera de cronómetro, puesto que, en conjunto con la figura 8 en el trabajo de Cabeza de Vaca et al. (1994), nuestros resultados, en particular los tiempos medio y los tiempos finales no reflejan una distribución dicotómica correspondiente a estas estrategias (Figura 8 en Resultados), aún más, las distribuciones de estos estimados en ensayos Pico con Interrupciones son similares a las distribuciones de estos mismos estimados en los ensayos Pico (Figura 5 en Anexo). En otra inferencia, se asume que el intervalo de tiempo anterior a la interrupción en un ensayo Pico con Interrupción puede ser retenido en la memoria de trabajo (Swearingen y Buhusi, 2010). Los desplazamientos observados en los tiempo pico de los ensayos Pico con Interrupción, llevaron a pensar que el tiempo anterior a la interrupción era ignorado o almacenado. Empero, el desplazamiento observado se ve afectado por el método de análisis utilizado y podría no reflejar un estimado real. Un ejemplo es mostrado en Buhusi et al. (2005), donde los ajustes de curvas gaussianas se hacen considerando únicamente la información posterior a la interrupción. Este ajuste podría devenir en un artefacto, pues no considera la tasa de respuesta previa a la presentación de la interrupción. Como muestran nuestros análisis (Figura 4 en Anexo), el estimado obtenido puede variar en función de la información considerada. Reinterpretando, cabe el cuestionamiento sobre el efecto de la interrupción en el comportamiento de los animales y la conceptualización teórica derivada de este procedimiento. Considerar que los animales muestran el inicio del patrón de respuesta bajo-alto-bajo durante la interrupción (Figura 6 en Anexo), al igual que en los ensayos Pico (Figura 5E en Resultados), conduce a reflexionar sobre la ambigüedad del procedimiento y el significado de la interrupción para el animal. Finalmente, en apoyo a nuestros resultados, Roberts (1982) utilizando procedimientos de Pico y de discriminación temporal, sugiere que la duración de señales visuales y auditivas es almacenada por la misma memoria y estimada temporalmente por el mismo reloj interno. Por su parte, Meck y Church (1982) empleando tareas de discriminación temporal concluyen que las ratas son

capaces de usar una representación abstracta de la duración temporal, que es al menos parcialmente, independiente de la modalidad del estímulo. De igual manera, trabajos con humanos han señalado una estimación temporal similar para señales visuales y auditivas (Szelag et al. 2002; Kagerer et al., 2002). En acuerdo a la idea de un estímulo compuesto, Walker y Scott (1981) encontraron que la estimación temporal de señales auditivas y visuales presentadas simultáneamente difería de la estimación temporal para la señal visual presentada por separado, pero similar para la señal auditiva presentada sola.

## Conclusiones

Con base en los distintos análisis y los resultados obtenidos, se concluye que las variaciones en la modalidad y las variaciones intramodales de las señales a estimar no modifican los juicios temporales de los animales en los procedimientos de Pico y en los procedimientos de Pico con Interrupciones. Bajo la lupa del análisis gaussiano, se sugiere que los juicios temporales de los animales se ven afectados en precisión, mostrando que las ratas se desempeñan con mayor precisión ante las señales auditivas. Alternativamente, el análisis de ensayos individuales no muestra diferencias. Por otra parte, independiente del efecto que pueda tener la interrupción en el comportamiento de los animales, los procedimientos de Pico con Interrupción reflejan que el desempeño de los animales se ve alterado de igual manera ante las variaciones de la señal a estimar.

No obstante, este estudio advierte más confrontaciones con la hipótesis planteada. A pesar de que los estímulos auditivos fueron cuidadosamente controlados y debido a que las vocalizaciones ultrasónicas reportadas en la literatura (Kimchi et al., 2007, Heffner y Heffner, 2007, Holy y Guo, 2005) van desde los 500 Hz hasta los 110 kHz, se sugiere el uso de estímulos auditivos con frecuencias más altas. Por otro lado, el trabajo de Walker y Scott (1981) en conjunto con las observaciones hechas por Prusky y Douglas (citados en Shettleworth, 2010) hacen suponer que ciertas modalidades de estímulos serían más apropiadas a las características del organismo, por lo que, en el caso de los roedores el uso de otro tipo de señales como las olfativas o táctiles podrían conducir un proceso de estimación temporal diferente. Dada esta argumentación, se sugiere probar estímulos en distintas modalidades que exploren otras características biológicas de los organismos. En otra observación, la teoría de aprendizaje discriminativo, plantea la contrastación directa de procedimientos de Pico y de Pico con Interrupciones utilizando un estímulo compuesto versus un estímulo aislado. En esta línea, puesto que los animales no han recibido instrucción sobre la interrupción en la señal y debido a que ésta podría indicar la carencia de reforzador, se propone la observación del comportamiento en los ensayos de Pico con Interrupción de forma prolongada. Finalmente, se enfatiza cautela en el tratamiento matemático y sus

interpretaciones teóricas, en esta vertiente el análisis de ensayos individuales refleja de manera más precisa el comportamiento real de los animales, por lo que, el análisis detallado del patrón bajo-alto-bajo podría abrir nuevas interpretaciones sobre el proceso conductual en la estimación temporal.

## Referencias

Akins, C. K. (2000) Effects of species-specific cues and CS-US interval on the topography of the sexually conditioned response. *Learning and motivation*, 31, 211-235.

Balci, F., Freestone, D. y Gallistel, C. R. (2009) Risk assessment in man and mouse. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 106, 2459-2463.

Balsam, P. D. y Gallistel, C. R. (2009) Temporal maps and informativeness in associative learning. *Trends Neuroscience*, 32, 73-78.

Bateson M. y Kacelnik A. (1995) Preferences for fixed and variable food sources: variability in amount and delay. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 63, 331-329.

Bradshaw, C. M. y Szabadi, E. (1997). Dynamic models of rapid temporal control in animals y Timing and temporal search. En *Time and Behavior, Psychological and Neurobehavioural Analyses* (pp. 1-78). North-Holland Elsevier Science B. V.

Brockie, P. J., Mellen, J. E., Hills, T., Madsen, D. M. y Maricq, A. V. (2001) The *C. elegans* glutamate receptor subunit NMR-1 is required for slow NMDA-activated currents that regulate reversal frequency during locomotion. *Neuron*, 31, 617-630.

Buhusi, C., Perera, D. y Meck W. H. (2005) Memory for Timing Visual and Auditory Signals in Albino and Pigmented Rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 1, 18-30.

Cabeza de Vaca, S., Brown, B. L. y Hemmes, N. S.(1994) Internal Clock and Memory Processes in Animal Timing. *Journal of Experimental Psychology*, 20, 184-198.

Church, R. M., Meck, W. H. y Gibbon J. (1994) Application of Scalar Timing Theory to Individual Trials. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 20, 135-155.

Domjan, M., (2010). Control de la conducta por el estímulo. En Principios de aprendizaje y conducta (pp. 257-297). Wadsworth Cengage Learning, sexta edición.

Droit-Volet, S. (1998) Time estimation in young children: an initial force rule governing time production. *Journal of Experimental Child Psychology*, 80, 142-159.

Fetsko, L. A., Stebbins, H. E., Gallagher, K. K. y Colwill, R. M. (2005) Acquisition and extinction of facilitation in the C57BL/6J mouse. *Learning & Behavior*, 33, 479-500.

Fortin, N. J., Agster, K. L. y Eichenbaum, H. B. (2002) Critical role of the hippocampus in memory for sequences of events. *Nature Neuroscience*, 5, 458-462.

Gould, J. L. (1988). Timing of landmark learning by honey bees. *Journal of Insect Behavior*, 1, 373-378.

Greene, R. L. (1992). Human memory: Paradigms and paradoxes. Hillsdale, NJ: Erlbaum.

Grondin, S. y Rosseau, R. (1991) Judging the relative duration of multimodal short empty time intervals. *Perception & Psychophysics*, 49, 245-256.

Grossberg, S. y Schmajuk, N. A. (1989) Alternative representations of time, number and rate. *Cognition*, 37, 1-22.

Hahnloser, R. H., Kozhevnikov, A. A. y Fee, M. S. (2002) An ultra-sparse code underlies the generation of neural sequences in a songbird. *Nature*, 19, 65-70.

Heffner, H. E. y Heffner R.S. (2007) Hearing Ranges of Laboratory Animals. *Journal of the American Association for Laboratory Animal Science*, 46, 20-22.

Heffner, R.S., Koay, G. y Heffner, H. E. (2001) Audiograms of five species of rodents: implications for the evolution of hearing and the perception of pitch. *Hearing Research*, 157, 138-152.

Herreros de Tejada, P., Green, D. G. y Muñoz, C. (1992) Visual thresholds in albino and pigmented rats. *Visual Neuroscience*, 9, 409-414.

Higa, J. J., Wynne, C. D. y Staddon, J. E. (1991) Dynamics of time discrimination. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 17, 281-291.

Holy, T. E. y Guo, Z. (2005) Ultrasonic Songs of Male Mice. *Plos Biology*, 3, 2177-2186.

Kagerer, F. A., Wittmann, M., Szelag, E. y Steinbüchel, N. (2002) Cortical involvement in temporal reproduction: evidence for differential roles of the hemispheres. *Neuropsychologia*, 40, 357–366.

Kaiser, D.H., Zentall, T.R. y Neinam, E. (2002) Timing in Pigeons: Effects of the Similarity Between Intertrial Interval and Gap in Timing Signal. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 28, 416-422.

Kandel, E. R., Schwartz, J. H. y Jessell, T. M. (2000). Learning and Memory. En *Principles of Neural Science* (pp. 1227-1246). McGraw-Hill, cuarta edición.

Kearns, D. N., Weiss, S. J., Schindler, C. W. y Panlilio, L. V. (2005) Conditioned inhibition of cocaine seeking in rats. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 31, 247-53.

Kerlinger, F. N. y Lee, H. B. (2002). Constructos, variables y definiciones. En *Investigación del Comportamiento, Métodos de Investigación en Ciencias Sociales* (pp. 35-54). McGraw-Hill, cuarta edición.

Killeen, P. R. y Fetterman J. G. (1988) A behavioral theory of timing. *Psychological Review*, 95, 274-295.

Kimchi, T., Xu, J. y Dulac C. (2007) A functional circuit underlying male sexual behavior in the female mouse brain. *Nature*, 448, 1009-1015.

Kraemer, P. J. y Roberts, W. A. (1984) Short-term memory for visual and auditory stimuli in pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 11, 137–151.

Kraemer, P. J. y Roberts, W. A. (1985) Short-term memory for simultaneously presented visual and auditory signals in the pigeon. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 11, 137–151.

Lea, S. E. G., Goto, K., Osthaus, B. y Ryan, C. M. E. (2006) The logic of the stimulus. *Animal Cognition*, 9, 247–256.

Lejeune, H. y Wearden, J. H., (1991) The comparative psychology of fixed interval responding: Some quantitative analyses. *Learning and Motivation* 22, 84–111.

Lustig, C. y Meck, W. H. (2011) Modality differences in timing and temporal memory throughout the lifespan. *Brain and Cognition*, 77, 298-303.

Mackintosh, N. J. (1975) A Theory of Attention: Variations in the Associability of Stimuli with Reinforcement. *Psychological Review*, 82, 276-298.

Meck, W. H. y Church, R. M. (1982) Abstraction of temporal attributes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 8, 226-243.

Meck, W. H. (2003). Modality differences in Interval Timing: Attention, Clock Speed, and Memory. En *Functional and Neural Mechanisms of Interval Timing* (pp. 209-234). CrcPress.

Menez, M. y López, F. (2006) Interrumpiendo el reloj interno: efectos de la discriminabilidad y la localización en la interrupción. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 32, 27-37.

Orduña, V., García, A., Menez, M., Hong, E. y Bouzas, A. (2008) Performance of spontaneously hypertensive rats in a peak-interval procedure with gaps. *Behavioural Brain Research*, 191, 72–76.

Orduña, V. y Bouzas, A. (2011) Learning to stop or reset the internal clock. *Behavioural Processes*, 88, 155-161.

Pagano, R. R. (2006). Distribuciones de frecuencias. En *Estadística para las ciencias del comportamiento* (pp. 38-62). Thomson, séptima edición.

Penney, T. B., Gibbon, J. y 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.

Roberts, W. S., Cheng, K. y Cohen, J. S. (1989) Timing Light and Tone Signals in Pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 15, 23-35.

Roberts, S. (1981) Isolation of an internal clock. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 4, 318-337.

Roberts, S. (1982) Cross-modal use of an internal clock. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 8, 2-22.

Sanabria, F. y Killeen, P. R. (2007) Temporal generalization accounts for response resurgence in the peak procedure. *Behavioral Processes*, 74, 126-141.

Shettleworth, S. J. (2010). Memory. En *Cognition, Evolution and Behavior* (pp. 210-256). Oxford, 2a edición.

Szelag, E., Kowalska, J., Rymarczyk, K. y Pöppel, E. (2002) Duration processing in children as determined by time reproduction: implications for a few seconds temporal window. *Acta Psychologica*, 110, 1–19.

Staddon, J. E. R. y Higa, J. J., (1999) Time and memory: toward a pacemaker-free theory. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 71, 215-251.

Swearingen, J. E., y Buhusi, C. V. (2010) The Pattern of Responding in the Peak-Interval Procedure with Gaps: an Individual-Trials Analysis. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 36(4), 443–455.

Syka, J., Rybalko, N., Brozek, G. y Jilek, M. (1996) Auditory frequency and intensity discrimination in pigmented rats. *Hearing Research*, 100, 107-113.

Walker, J. T. y Scott, K. J. (1981) Auditory-visual conflicts in the perceived duration of lights, tones and gaps. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance* 7, 1327-1339.

## Anexo

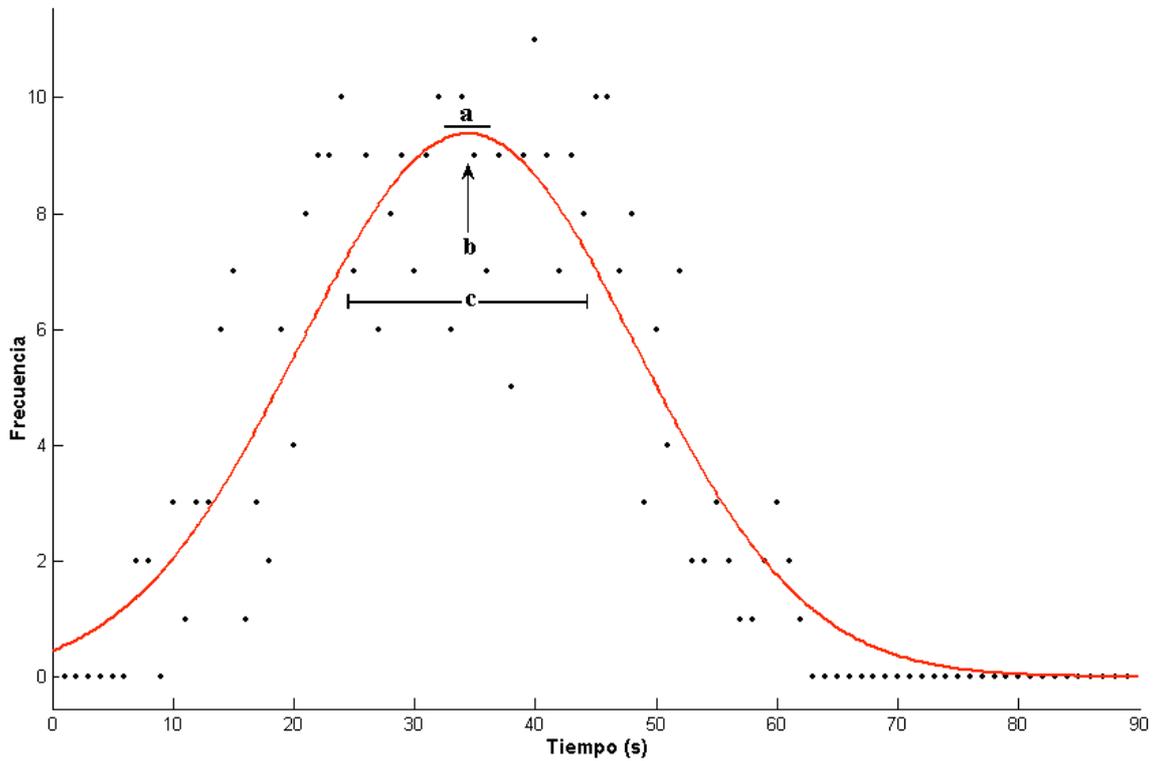


Figura 1. Ajuste de curva gaussiana. En este ejemplo se muestran los puntos que señalan la distribución de frecuencias con intervalos de un segundo en una sesión determinada. Los tres valores señalan la tasa pico, el tiempo pico y el ancho de función, a, b y c respectivamente. Para esta sesión en particular de cuatro ensayos pico con interrupción, la tasa pico es igual a 9.38, el tiempo pico es igual a 34.39, el ancho de función es igual a 19.78 y la  $R^2$  es igual a 0.87.

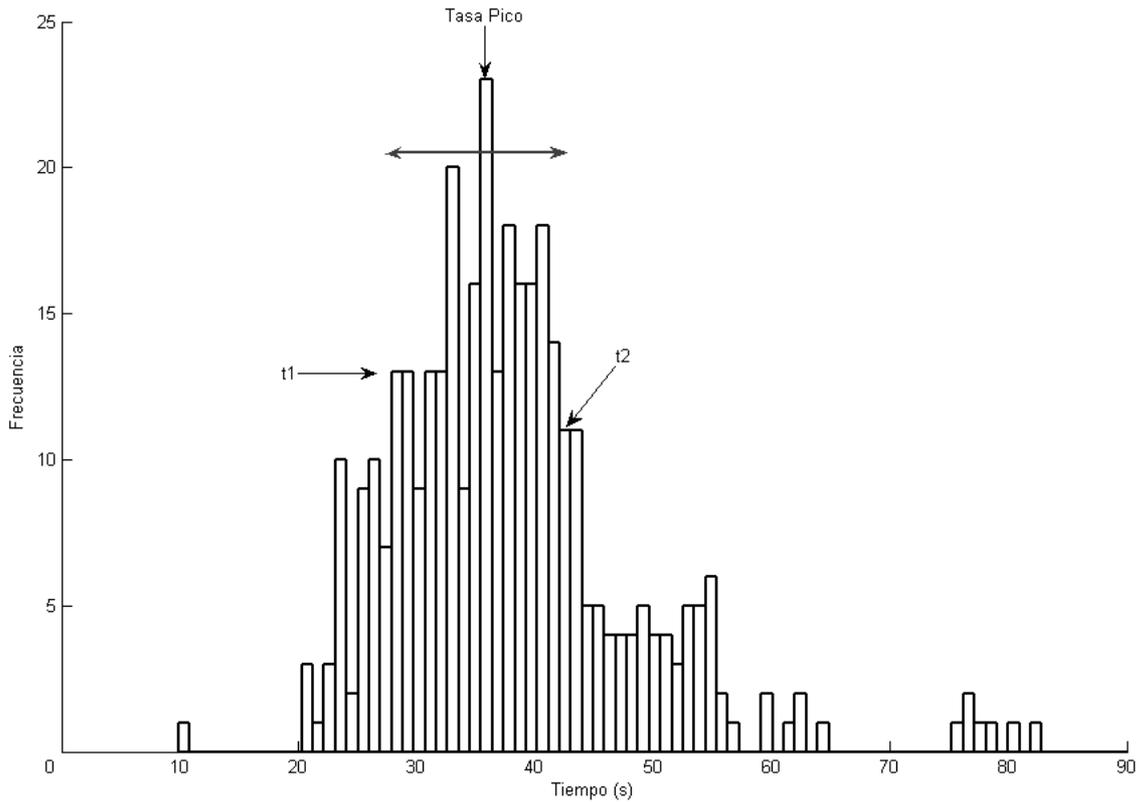


Figura 2. Tasa de respuesta media en un histograma. Este ejemplo muestra un histograma con intervalos de un segundo en una sesión determinada. Se indica la tasa pico, que corresponde a 23 (100%) respuestas en el segundo 36. En el segundo 28, se ubica la primera ocasión en que un segundo dado sobrepasa el 50% de la tasa pico ( $t_1$ ). En el segundo 43, se ubica la última ocasión en que un segundo dado declina el 50% de la tasa pico ( $t_2$ ). El ancho de función es indicado por la doble flecha, en este caso fue de 15 segundos (ancho =  $t_2 - t_1$ ). El tiempo pico se ubica en el segundo 35.5 (tiempo pico =  $(t_2 - t_1) / 2 + t_1$ ).

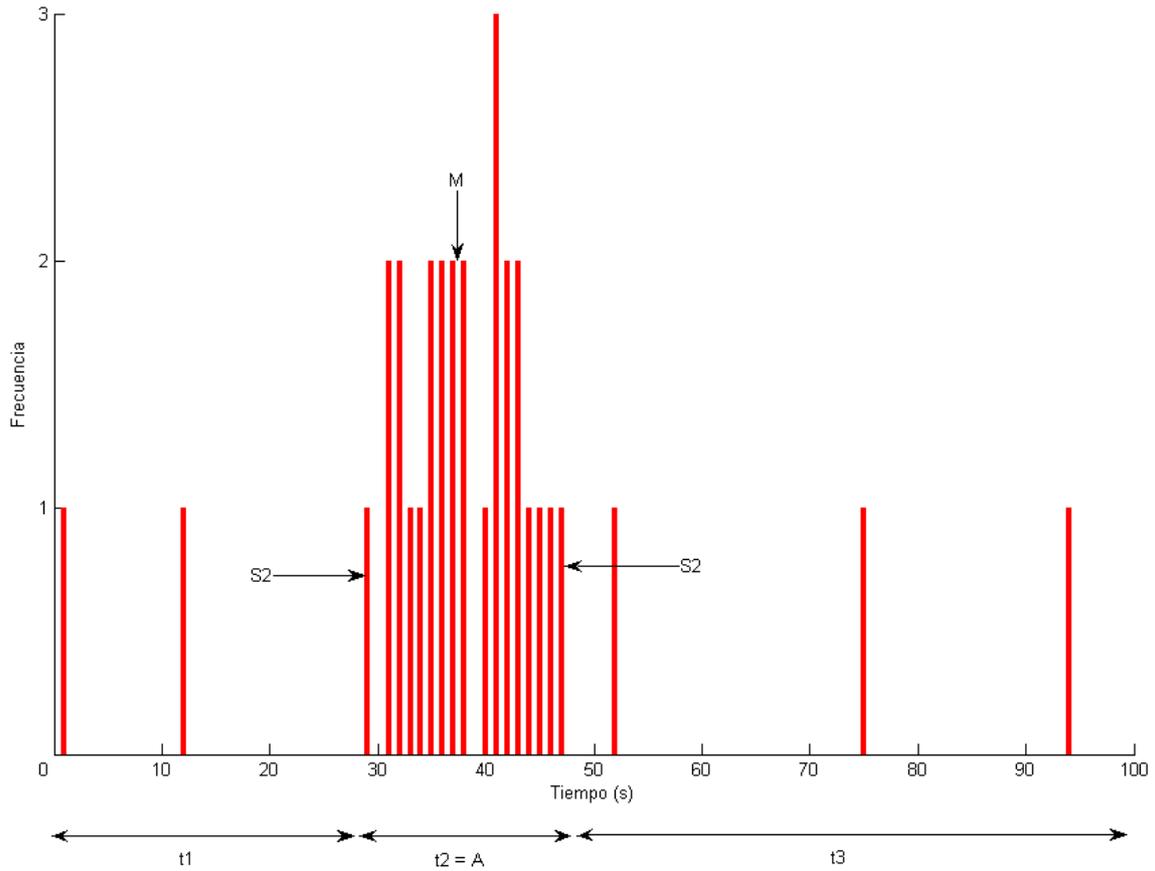


Figura 3. Análisis de ensayos individuales. En este ejemplo se muestra un histograma que corresponde a un ensayo individual determinado. Se indica el tiempo de inicio (S1), el tiempo final (S2), el tiempo medio (M) y el ancho (A) del estado de respuesta alto. Para este ensayo el tiempo de inicio (S1) se presentó al segundo 28, el tiempo final (S2) al segundo 47, el tiempo medio fue igual a 37.5 ( $M = A/2 + S1$ ) y el ancho del estado de respuesta alto fue de 19 segundos ( $A = S2 - S1$ ).

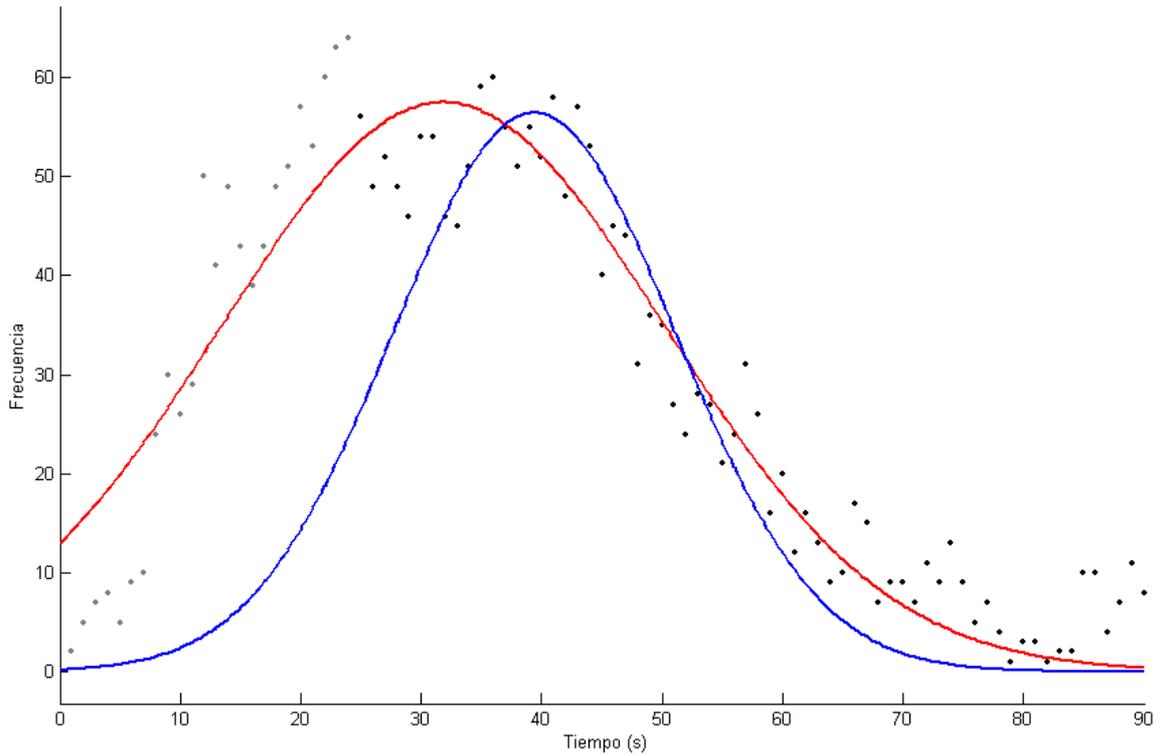


Figura 4. Comparación de ajustes gaussianos. En este ejemplo se muestra la distribución de frecuencias de un animal en particular para las diez sesiones de ensayos Pico con Interrupciones. Los puntos en gris señalan la tasa de respuesta del segundo 1 al segundo 24. En rojo se muestra el ajuste que considera toda la distribución de frecuencias y en azul se muestra el ajuste que considera únicamente la información a partir del segundo 24. Para el primer ajuste (rojo), el tiempo pico se encuentra en el segundo 31.81, mientras que para el segundo ajuste (azul), el tiempo pico se encuentra en el segundo 39.38.

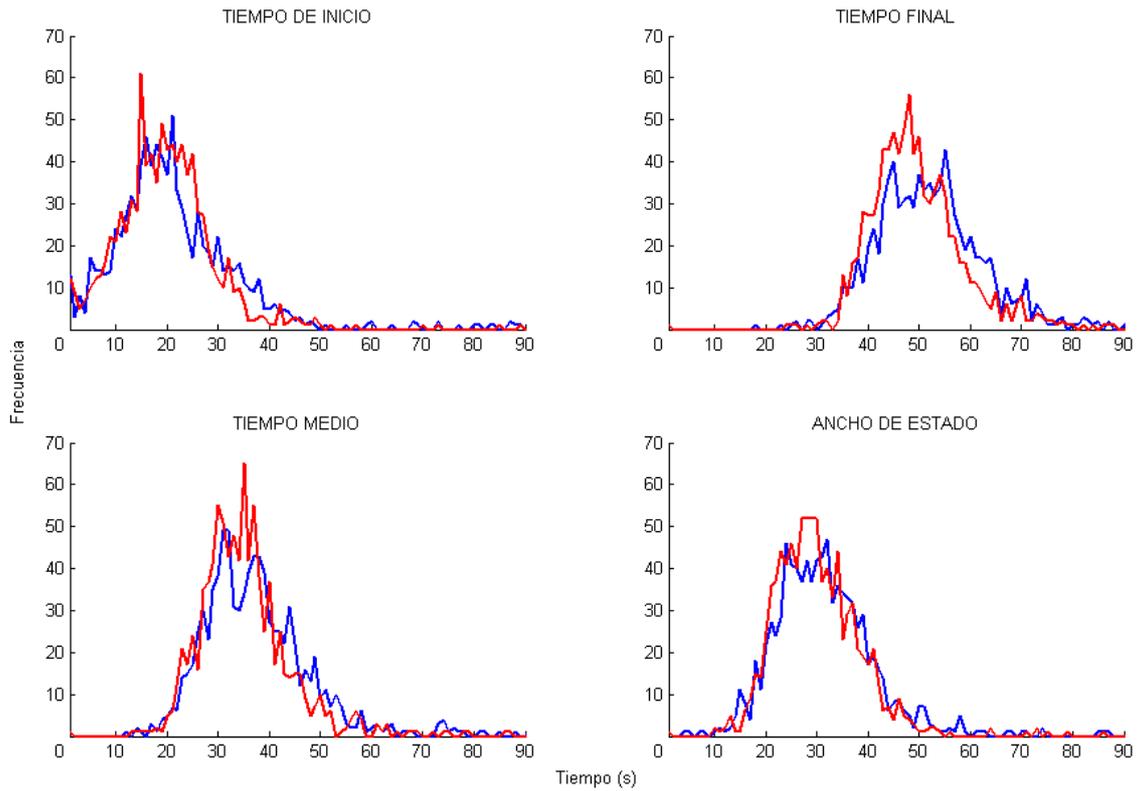


Figura 5. Ensayos Pico vs ensayos Pico con Interrupciones. En azul se muestran las distribuciones de frecuencia de los tiempos obtenidos en el estado de tasa de respuesta alto en los ensayos Pico con Interrupciones, y en rojo se muestran las distribuciones de frecuencia de los tiempos obtenidos en el estado de tasa de respuesta alto en los ensayos Pico.

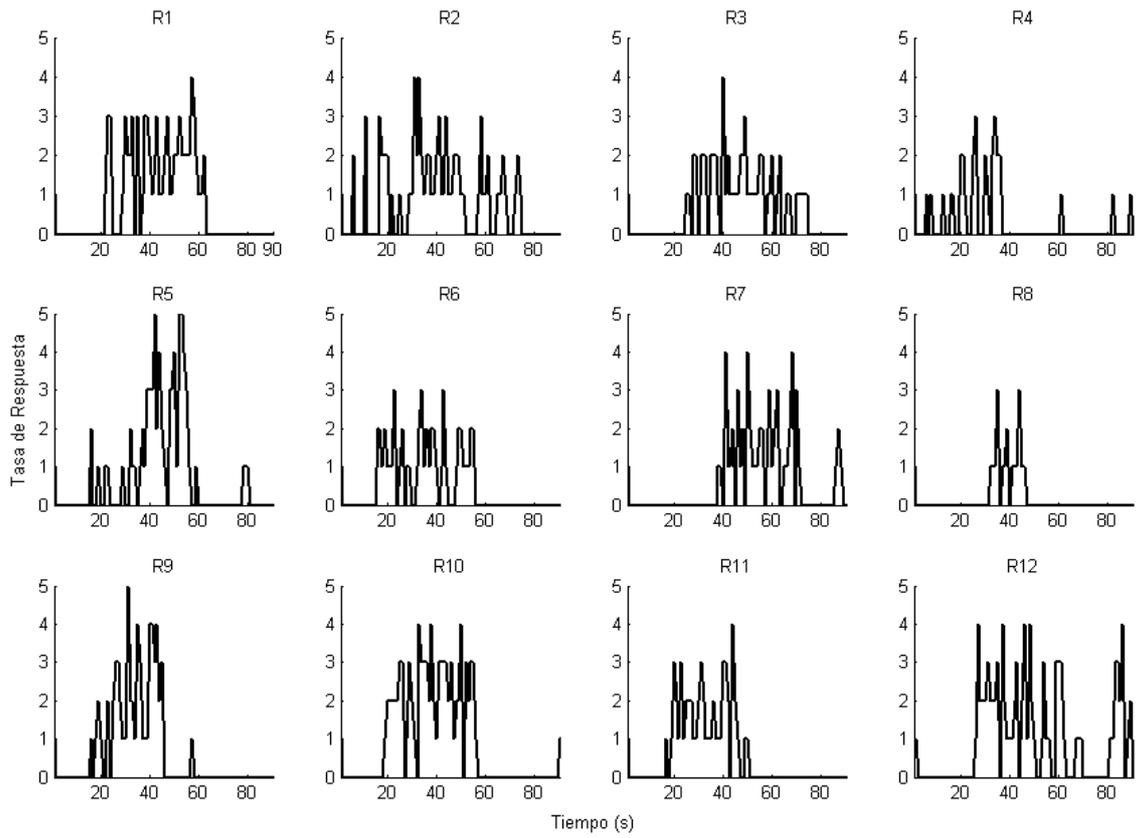


Figura 6. Un primer ensayo con interrupción. Se muestran los polígonos de frecuencia con intervalos de un segundo en el primer ensayo en el cual se introdujo una interrupción para los tonos. La interrupción abarcó del segundo 15 al segundo 24. Cada rata muestra el estado de tasa de respuesta alto.

Tabla 1. Pruebas Estadísticas. Los Ensayos Pico etiquetados con 1 señalan el conjunto de ensayos para los cuales se descartaron los malos inicios y los malos finales. Los Ensayos Pico etiquetados con 2 señalan el conjunto de ensayos para los cuales no se descartaron los malos inicios y los malos finales.

Fase	Comparación	Rango	Valor F	Probabilidad
Adquisición	Modalidad vs Tiempo Pico	1,9	0	0.99
	Modalidad vs Tasa de Respuesta	1,9	1.34	0.28
	<b>Modalidad vs Ancho de Función</b>	<b>1,9</b>	<b>7.32</b>	<b>0.02</b>
	Pertinencia vs Tiempo Pico	2,9	1.37	0.3
	Pertinencia vs Tasa de Respuesta	2,9	0.84	0.46
	Pertinencia vs Ancho de Función	2,9	2.44	0.14
Ensayos Pico (1 segundo)	Modalidad vs Tiempo Pico	1,9	1.79	0.21
	Modalidad vs Tasa de Respuesta	1,9	3.05	0.11
	Modalidad vs Ancho de Función	1,9	1.75	0.29
	Pertinencia vs Tiempo Pico	2,9	0.01	0.99
	Pertinencia vs Tasa de Respuesta	2,9	0.5	0.62
	Pertinencia vs Ancho de Función	2,9	0.51	0.62
Ensayos Pico (5 segundos)	Modalidad vs Tiempo Pico	1,9	1.93	0.2
	<b>Modalidad vs Tasa de Respuesta</b>	<b>1,9</b>	<b>6.56</b>	<b>0.03</b>
	<b>Modalidad vs Ancho de Función</b>	<b>1,9</b>	<b>5.5</b>	<b>0.04</b>
	Pertinencia vs Tiempo Pico	2,9	1.22	0.34
	Pertinencia vs Tasa de Respuesta	2,9	0.14	0.87
	Pertinencia vs Ancho de Función	2,9	2.48	0.14
Ensayos Pico (ecuación a)	Modalidad vs Tiempo Pico	1,9	1.24	0.3
	<b>Modalidad vs Tasa de Respuesta</b>	<b>1,9</b>	<b>11.81</b>	<b>0.01</b>
	<b>Modalidad vs Ancho de Función</b>	<b>1,9</b>	<b>13.64</b>	<b>0.01</b>
	Pertinencia vs Tiempo Pico	2,9	1.7	0.24
	Pertinencia vs Tasa de Respuesta	2,9	0.1	0.91
	Pertinencia vs Ancho de Función	2,9	2.1	0.18
Ensayos Pico (ecuación b)	Modalidad vs Tiempo Pico	1,9	1.01	0.34
	<b>Modalidad vs Tasa de Respuesta</b>	<b>1,9</b>	<b>9.85</b>	<b>0.01</b>
	<b>Modalidad vs Ancho de Función</b>	<b>1,9</b>	<b>18.65</b>	<b>0.01</b>
	Pertinencia vs Tiempo Pico	2,9	2.03	0.19
	Pertinencia vs Tasa de Respuesta	2,9	0.09	0.92
	<b>Pertinencia vs Ancho de Función</b>	<b>2,9</b>	<b>5.6</b>	<b>0.03</b>
Ensayos Individuales (1)	Modalidad vs Tiempo Inicial	1,9	1.54	0.25
	Modalidad vs Tiempo Final	1,9	0.04	0.85
	Modalidad vs Tiempo Medio	1,9	0.28	0.61
	Modalidad vs Ancho de Estado	1,9	1.01	0.34
	Pertinencia vs Tiempo Inicial	2,9	1.11	0.37
	Pertinencia vs Tiempo Final	2,9	0.1	0.41
	Pertinencia vs Tiempo Medio	2,9	0.88	0.45
	Pertinencia vs Ancho de Estado	2,9	0.85	0.46
Ensayos Individuales (2)	Modalidad vs Tiempo Inicial	1,9	0.92	0.36
	Modalidad vs Tiempo Final	1,9	1.94	0.2
	Modalidad vs Tiempo Medio	1,9	1.49	0.25
	Modalidad vs Ancho de Estado	1,9	0.57	0.47
	Pertinencia vs Tiempo Inicial	2,9	0.09	0.91
	Pertinencia vs Tiempo Final	2,9	0.41	0.67
	Pertinencia vs Tiempo Medio	2,9	0.18	0.84
	Pertinencia vs Ancho de Estado	2,9	1.03	0.4

Ensayos con Interrupciones (1 segundo)	Modalidad vs Tiempo Pico	1,9	0.05	0.83
	Modalidad vs Tasa de Respuesta	1,9	4.1	0.07
	<b>Modalidad vs Ancho de Función</b>	<b>1,9</b>	<b>5.32</b>	<b>0.04</b>
	Pertinencia vs Tiempo Pico	2,9	7.27	0.01
	Pertinencia vs Tasa de Respuesta	2,9	1.44	0.29
	<b>Pertinencia vs Ancho de Función</b>	<b>2,9</b>	<b>7.55</b>	<b>0.01</b>
Ensayos con Interrupciones (5 segundos)	Modalidad vs Tiempo Pico	1,9	3.73	0.09
	Modalidad vs Tasa de Respuesta	1,9	1.15	0.31
	Modalidad vs Ancho de Función	1,9	0.09	0.77
	Pertinencia vs Tiempo Pico	2,9	2.28	0.16
	Pertinencia vs Tasa de Respuesta	2,9	0.85	0.46
	<b>Pertinencia vs Ancho de Función</b>	<b>2,9</b>	<b>7.18</b>	<b>0.01</b>
Ensayos con Interrupciones (Ecuación b)	<b>Modalidad vs Tiempo Pico</b>	<b>1,9</b>	<b>12.51</b>	<b>0.01</b>
	Modalidad vs Tasa de Respuesta	1,9	1.77	0.26
	Modalidad vs Ancho de Función	1,9	2.82	0.13
	Pertinencia vs Tiempo Pico	2,9	4.04	0.06
	Pertinencia vs Tasa de Respuesta	2,9	0.99	0.41
	Pertinencia vs Ancho de Función	2,9	1.49	0.28
Ensayos Individuales	Modalidad vs Tiempo Inicial	1,9	2.89	0.12
	Modalidad vs Tiempo Final	1,9	0.17	0.74
	Modalidad vs Tiempo Medio	1,9	0.55	0.48
	Modalidad vs Ancho de Estado	1,9	4.75	0.06
	Pertinencia vs Tiempo Inicial	2,9	1.72	0.23
	Pertinencia vs Tiempo Final	2,9	2.56	0.13
	Pertinencia vs Tiempo Medio	2,9	2.69	0.12
	Pertinencia vs Ancho de Estado	2,9	0.2	0.82
Desplazamiento (1 segundo)	Modalidad	1,9	0.21	0.66
	<b>Pertinencia</b>	<b>2,9</b>	<b>7.53</b>	<b>0.01</b>
Desplazamiento (5 segundos)	Modalidad	1,9	0.57	0.47
	Pertinencia	2,9	1.67	0.24
Desplazamiento (Ensayo Completo)	<b>Modalidad</b>	<b>1,9</b>	<b>6.58</b>	<b>0.03</b>
	<b>Pertinencia</b>	<b>2,9</b>	<b>11.01</b>	<b>0.01</b>
Desplazamiento (A partir del segundo 24)	Modalidad	1,9	0	0.99
	<b>Pertinencia</b>	<b>2,9</b>	<b>6.02</b>	<b>0.02</b>