

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

COORDINACIÓN DE PSICOLOGÍA EXPERIMENTAL

ESTIMACIÓN TEMPORAL: EFECTOS DE LA LOCALIZACIÓN DE LA INTERRUPCIÓN

TESIS QUE PARA OBTENER EL GRADO DE LICENCIADO EN PSICOLOGÍA

PRESENTA

GABRIELA CANALES AYALA

DIRECTOR DE TESIS

DRA. MARINA MENEZ DÍAZ

COMITÉ TUTORIAL

REVISOR: DR. FLORENTE LÓPEZ RODRÍGUEZ

DRA. LIVIA SÁNCHEZ CARRASCO

DR. OSCAR ZAMORA AREVALO

MTRA. CONCEPCIÓN MORÁN MARTÍNEZ

AGOSTO 2007

TESIS APOYADA POR EL PROYECTO:

PAPIIT: IN 301505



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

Lift thine eyes to the mountains

from whence cometh thy help.

Ps. 121

Gaudeamus igitur,
juvenes dum sumus.
post iucundam iuventutem,
post mol estam senectutem,
nos habebit humus.
(...)

Vivat academia,
vivant professores.
vivat membrum quodlibet,
vivant membra quaelibet,
semper sint in flore.
(...)

Alma Mater floreat
quae nos educavit,
caros et commilitonis
Dissitas in regiones
sparsos congregavit.

Alegrémonos pues,
mientras seamos jóvenes.
Tras la divertida juventud,
tras la incómoda vejez,
nos recibirá la tierra.

Viva la Universidad,
vivan los profesores.
Vivan todos y cada uno
de sus miembros,
resplandezcan siempre.

Florezca el Alma Mater
que nos ha educado,
y ha reunido a los queridos compañeros
que por regiones alejadas
estaban dispersos.

Tomado de:
GAUDEAMUS IGITUR
("ALEGRÉMONOS PUES")
ANÓNIMO

Se titulaba *De brevitate vitae* ("Sobre la brevedad de la vida")
y se cantó inicialmente en universidades alemanas
a mediados del siglo XVIII.

AGRADECIMIENTOS

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
POR SIEMPRE MI CASA

MAMÁ
Δ y Ω

PAPÁ
TENÍAS RAZÓN

MARINA
MAESTRA Y AMIGA

LABOR OMNIA VINCET

INDICE

1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
EL RELOJ INTERNO Y SUS PROPIEDADES	
MODOS DE OPERACIÓN DEL RELOJ	6
EXPLICACIÓN EN TÉRMINOS DE MEMORIA	8
EXPLICACIONES EN TÉRMONOS DE COTROL DISCRIMINATIVO	10
EXPLICACIONES EN TÉRMINOS DE ATENCIÓN	16
HALLAZGOS QUE FAVORECEN OTRAS INTERPRETACIONES DE LOS MODOS DE OPERACIÓN DEL RELOJ INTERNO	23
APRENDIZAJE TEMPORAL	24
PROPUESTA EXPERIMENTAL	33
3. MÉTODO	36
SUJETOS	
APARATOS	
PROCEDIMIENTO	
PREENTRENAMIENTO	
PROCEDIMIENTO DE PICO	37
PICO CON INTERRUPCIONES	
4. RESULTADOS	38
5. DISCUSIÓN	45
6. REFERENCIAS	50
7. ANEXO	55

ESTIMACIÓN TEMPORAL: EFECTOS DE LA LOCALIZACIÓN DE LA INTERRUPCIÓN

RESUMEN

Se exploró el efecto de la introducción de interrupciones durante la segunda mitad del ensayo de prueba en el modo de operación del reloj interno en ratas. El objetivo fue probar la hipótesis de localización (Cabeza de Vaca, Hemmes y Brown, 1994) de que interrupciones tardías provocan la reiniciación del reloj. No se obtuvieron desplazamientos del tiempo pico acordes con el modo de operación de retención o reinicio, aunque se observaron cambios en la tasa de respuesta similares a los reportados por Aum, Brown y Hemmes (2006). Estos resultados sugieren la necesidad de incorporar modelos de los determinantes de la tasa de respuesta (Hopson, 1999, 2002; Machado, 1997) y control de estímulos a la explicación de los modos de operación del reloj interno.

INTRODUCCIÓN

La capacidad de los animales para ajustar su conducta en función de la duración de un estímulo es conocido en la literatura como “control temporal” y en ocasiones se le considera como sinónimo de estimación temporal. La estimación temporal también implica que los animales pueden aprender las distintas relaciones que existen entre eventos tomando como base el intervalo entre ellos. Es decir, si clasificamos a tales eventos en estímulos, respuestas y consecuencias, entonces podemos establecer relaciones temporales entre estímulos, estímulo y respuesta, respuesta y consecuencia, etc. y el animal puede aprender a estimar los intervalos entre dichos eventos (Church, 1978).

EL RELOJ INTERNO Y SUS PROPIEDADES

Para explicar este comportamiento de los animales, se ha teorizado sobre la posible existencia de un reloj interno que estime el tiempo. Se supone que dicho reloj interno está formado por un generador de pulsos, un interruptor y un acumulador. El inicio de una señal provoca que el generador emita pulsos y que el interruptor se cierre, acumulando así los pulsos para que al momento de ser reforzado el animal, el número de pulsos acumulados se guarde en la memoria y constituya un indicador de la cantidad de tiempo transcurrido. La siguiente vez que dicha señal se presente, este valor previamente almacenado será recuperado y el animal responderá cuando la diferencia relativa entre el tiempo estimado en ese momento (memoria de trabajo) y el ya almacenado (memoria de referencia), haya superado un cierto umbral.

El fenómeno ha sido estudiado con los métodos de estimación y producción, entre otros. En el primero, se le presenta al animal un estímulo que señala un intervalo y después se le pide que de una respuesta de acuerdo a una regla preestablecida que exige del animal tomar una decisión acerca de la duración de tal estímulo (presionar en la palanca izquierda si el estímulo es percibido como largo y en la derecha si es percibido como corto). En este método, la señal inicia al reloj. Cuando dicha señal finaliza, el animal “lee” el valor acumulado en el reloj y toma la decisión de responder de acuerdo a la relación entre el criterio establecido y el estado del reloj. En el segundo método, el de producción, el animal tiene que reproducir un intervalo temporal que esté dentro de un rango de valores reforzados. Por ejemplo, el animal puede esperar hasta que parezcan haber transcurrido 30s y *después* dar una respuesta para ser reforzado. Aquí, el reloj es iniciado por la señal y el

animal va tomando las decisiones de responder o no mientras la señal está presente y dependiendo del grado en que se asemeje o no al criterio establecido. (Church, 1978).

Church (1978) describe algunas de las propiedades de este reloj interno. Primero, asegura que el reloj puede estimar dos señales distintas al mismo tiempo –como una luz y un tono-, es decir, que existe tan solo un reloj que es sensible a distintas modalidades de estímulos y no un reloj para cada tipo de estímulo presente.

Como segunda característica, describe algo que llama “proporcionalidad”: el animal responde de manera proporcional en función de la duración del intervalo que esté siendo estimado. Es decir, cuando se toma como variable dependiente la tasa máxima de respuesta y como variable independiente el porcentaje transcurrido del intervalo, la forma de los gradientes de respuesta de diversos intervalos fijos son muy similares. Supongamos que un animal bajo un intervalo fijo de treinta segundos IF30s ha completado el 50% de su tasa máxima de respuesta después de haber transcurrido el 75% del intervalo, bien, un animal sometido a un IF60s tendrá el mismo comportamiento proporcional sin importar que el tamaño del intervalo se haya duplicado.

Finalmente, Church (1978) encuentra que el reloj avanza en valores de tiempo absoluto, no proporcional; es decir, la velocidad del reloj no cambia dependiendo del tamaño del intervalo (no “corre” más lento por estimar un intervalo más grande), así, el animal sabe que un intervalo es más grande porque ve en el acumulador un mayor número de pulsos almacenados. Si el reloj “descontara”, entonces partiría de un valor inicial y la atención del animal se concentraría en la cantidad de tiempo que resta en el intervalo, por lo que postula que otra propiedad del reloj es que “acumula” esto quiere decir que el reloj parte de un valor de cero y va incrementando en unidades hasta alcanzar un criterio. Estos hallazgos se derivaron de un experimento hecho por Roberts y Church (1978) en el que entrenaron a ratas en un procedimiento en el que utilizaron dos tipos de señal. Se les presentaban ensayos IF de 30s donde el reforzamiento estaba señalado por la luz y mezclaron éstos con otros de IF60s en los que el reforzamiento estaba señalado por un sonido. La conducta adquirida por los animales alrededor del final del entrenamiento bajo el IF, fue un patrón de respuesta que incrementaba a medida que el tiempo de reforzamiento se aproximaba, tanto en la condición de 30s como en la condición de 60s. En una fase posterior del experimento, dividieron a los sujetos en dos grupos: uno control y otro al que le

presentaron ensayos en los que la luz de 30s cambiaba abruptamente a la señal de 60s de ruido. Dichos cambios podrían ocurrir 6, 12, 18, 24 ó 30s después de iniciado el intervalo. A partir de la tasa de respuesta en estos ensayos en los que la señal cambiaba, podía inferirse si las ratas estimaban ambas señales con el mismo reloj, si lo hacían en unidades absolutas o proporcionales y si estimaban acumulando o descontando. Por ejemplo, después de 12s de luz (señal de 30s), la luz podía apagarse y la señal de ruido continuar (señal de 60s). Existían cuatro posibles patrones de respuesta dependiendo de cómo funcionara el reloj. Si el animal utilizara un reloj que estimara acumulando en unidades absolutas, entonces, de acuerdo al ejemplo, habrían transcurrido 12s, de tal manera que el desempeño sería el observado bajo un IF60s *después* de transcurridos 12s. Si el animal utilizara un reloj que estimara descontando unidades absolutas, quedan 18s por lo que el desempeño sería igual a aquel bajo un IF60 cuando *restan* 18s. De utilizar un reloj que estimara acumulando en unidades proporcionales, 40% del tiempo habría transcurrido así el patrón de respuesta sería como el de un animal bajo un IF60 *después* de haberse completado el 40% del intervalo. Finalmente, si el reloj es uno que estime descontando unidades proporcionales, resta un 60% del intervalo por estimar y el comportamiento sería igual a aquel bajo un IF60 cuando *resta* el 60% del intervalo por transcurrir. Por lo tanto, la pregunta a responder era ¿cómo estima el tiempo el animal? ¿acumulando unidades proporcionales o absolutas, o descontándolas? La pregunta empírica era determinar si el comportamiento de una rata que ha sido cambiada de un IF30 a un IF60 después de 12s es equivalente a su desempeño en un IF60 después de 12, 24 o 42s. Lo que observaron fue que la tasa de respuesta a la señal de 60s (sonido) fue una función del tiempo transcurrido desde el comienzo del intervalo sin importar si el ensayo empezaba con una señal de 60s o si era cambiado a dicha señal después de transcurridos 6, 12, 18 o 24s. Para poder predecir la tasa de respuesta en la señal de 60s lo único que tendría que hacerse era averiguar cuánto tiempo había transcurrido desde el inicio del intervalo. Con esto demostraban que las ratas habían utilizado tan solo un reloj. Como segunda conclusión está el hecho que el reloj avanza en función del tiempo absoluto no proporcional. Esto se deriva a partir del hecho que la tasa de respuesta fue una función de la duración transcurrida desde el inicio del intervalo, independientemente de la modalidad de la señal a estimar. Ya que no importaba cuánto de la señal perteneciera a la señal de 30s, no había evidencias que estuvieran a favor del hecho que el reloj estimara a una tasa más rápida bajo la señal de 30s que bajo la señal de 60s. El reloj avanzaba a una tasa constante pero

cuando la señal era cambiada de la de 30s (luz) a la de 60s (ruido), aparentemente el criterio cambiaba a uno de valor más grande. La tercera conclusión del experimento fue que el reloj estima acumulando y no descontando. Derivan esta afirmación a partir de la observación de la similitud de las curvas de respuesta en ambas condiciones: cuando había cambios de señal y cuando no los había. A decir, una rata que había experimentado el cambio de una señal de IF30s a la de IF60s después de transcurridos 12s presentaba la misma tasa de respuesta que una que había sido sometida a un IF60s y que llevara 12s de dicho intervalo transcurridos.

Por otra parte, Roberts (1981) estudió las propiedades del reloj interno y describió las siguientes: el generador de pulsos es interno, el reloj puede ser detenido temporalmente por una interrupción en la señal estimada, el reloj es reiniciado al menos parcialmente por la entrega de alimento y estima intervalos de distintas duraciones. Roberts realizó experimentos en los que calculó dos medidas propias de la conducta bajo el procedimiento de pico: el tiempo pico y la tasa pico. El procedimiento de pico consiste en la presentación de una mezcla de ensayos reforzados con ensayos no reforzados. Los ensayos reforzados se programan como intervalos de duración fija, dependientes de respuesta (IF). Los ensayos no reforzados duran tres o cuatro veces lo que dura el IF y se caracterizan por eliminar la entrega del reforzador. La medida de tiempo pico se refiere al tiempo en el que ocurre el mayor número de respuestas contadas desde el inicio del intervalo. La tasa pico es el valor máximo de la respuesta.

Deriva el supuesto de que la *ruta de estímulo respuesta* está formado por un **sistema de estimación temporal** que se mide por el tiempo pico, el cual refleja al componente que permite al animal saber cuando responder, y un **sistema de respuesta** que se mide por la tasa pico, la cual a su vez refleja al componente que hace que el sujeto aprenda que tanto debe responder. Ambos sistemas están separados en el sentido de que uno puede ser modificado sin verse alterado el otro, de ahí la independencia observada entre el tiempo pico y la tasa pico. Dicha independencia refleja a dos partes distintas que conforman el mecanismo de estimación temporal (Roberts, 1998).

Según Roberts, el sistema de estimación temporal, se ve afectado por el tiempo de entrega del alimento, por las interrupciones de la señal cuando está siendo estimada y por la omisión del alimento cuando se espera su entrega. No se ve afectado por la baja probabilidad de entrega del alimento, esto lo concluye después de haber entrenado una señal con una probabilidad de reforzamiento de .2 y otra señal con una probabilidad de .8, el tiempo pico fue el mismo independientemente de la probabilidad asociada. En los experimentos 2 y 3 de Roberts (1981) las manipulaciones que se llevaron a cabo (“apagones” –interrupciones- en el experimento 2 y prealimentación en el experimento 3) cambiaron el tiempo pico pero no alteraron la distribución de las respuestas. Por su parte, el sistema de respuesta se ve afectado por la probabilidad de la entrega del alimento y por la prealimentación, cada uno de los cuales afectan la tasa pico. Es insensible al tiempo de entrega de la comida y a las interrupciones.

El presunto reloj interno de los organismos podría funcionar como lo hace un reloj artificial: deteniéndose en respuesta a determinada instrucción o evento, almacenando valores previos, re-iniciándose, etc. Existen, sin embargo, ciertas limitantes a dicho control puesto que no podemos hacer que cambie la tasa del cronómetro y éste no puede descontar tiempo (o contar en reversa).

MODOS DE OPERACIÓN DEL RELOJ

Surgió entonces la inquietud por determinar qué tanto puede ser controlado el reloj interno de las ratas y pichones estudiados, si puede ser detenido o no. Después de haberse realizado diversos experimentos, se concluyó que cuando los animales son sometidos a un procedimiento en el cual la señal a ser estimada es interrumpida, el comportamiento es tal que nos indica que dicha ausencia afecta la estimación de la señal y el efecto puede ser uno de los dos siguientes extremos: pueden reiniciar el reloj completamente y empezar la cuenta de nuevo, o bien pueden detener el reloj momentáneamente y continuar con la estimación del intervalo una vez reiniciada la señal. Al procedimiento se le conoce como “Procedimiento de pico con interrupciones” o “Procedimiento de gap”, utilizado por primera vez por Roberts y Church (1978) para determinar las propiedades del reloj.

En sus estudios, la presentación de la señal (de duración de 30 segundos, por ejemplo), es interrumpida por un intervalo de 15 segundos para observar sus efectos tanto en la tasa pico como en el tiempo pico (Roberts, 1981). Se podría pensar en dos posibles resultados, uno es que el animal pudiera presentar su tasa pico 30 segundos después de la interrupción o bien, la podría presentar 15 segundos después de la interrupción. De ocurrir la primera, diríamos que el animal habría *re iniciado* el reloj después de finalizada la interrupción y no se habría retenido valor alguno en la memoria de referencia. Si la tasa pico ocurriera a los 15s después de la interrupción, diríamos que el animal utilizó una regla de *detención- retención*, ya que el valor del intervalo transcurrido antes de dicha interrupción se habría guardado y una vez finalizada la interrupción, el reloj habría continuado estimando el intervalo recuperando de la memoria de referencia el valor previamente almacenado (15s). Así, el desplazamiento del tiempo pico producido por la regla de la *re inicialización*, equivale a la suma de la duración de dicha interrupción más el tiempo transcurrido antes de la interrupción, mientras que el producido por una regla de *detención- retención* es igual a la duración de la interrupción misma.

Pero, ¿cuándo los animales utilizan una u otra regla de comportamiento? ¿De qué depende?

Roberts (1981), encontró resultados que apoyaban la utilización de la regla de detención- retención. Entrenó a ratas bajo un IF 40s y las sometió a cuatro condiciones distintas en el siguiente orden:

- 1) la luz era interrumpida a los 10s de iniciado el intervalo y duraba 10s,
- 2) la interrupción duraba 5s y empezaba igualmente a los 10s,
- 3) la interrupción duraba 5s empezando en el segundo 15 y
- 4) una señal sonora de 10s era encendida al segundo 15

Él encontró que los desplazamientos producidos por las interrupciones, sin importar en dónde ocurrieran, eran de 13s para la interrupción de 10s y 8s para las de 5s; resultados que apoyarían la idea de la regla de detención- retención ya que los valores esperados en caso de haberse utilizado dicha regla serían de 10 y 5s respectivamente –iguales al tamaño de cada interrupción-. En cambio, en caso de haber utilizado la regla de reinicialización, las ratas deberían haber presentado desplazamientos de 25, 20 y 15 segundos.

No obstante, se pueden observar ciertas inconsistencias en los resultados de Roberts, ya que los desplazamientos de 13 y 8s diferían en 3s de los desplazamientos predichos por la regla de detención-retención y, sin embargo, no podían ser explicados por la regla de reinicialización. Roberts argumentó que estas discrepancias se debían a que posiblemente al reloj le tomaba más tiempo reiniciarse que detenerse o bien porque la interrupción reiniciaba la memoria parcialmente (Roberts, 1981).

EXPLICACIÓN EN TÉRMINOS DE MEMORIA

Cabeza de Vaca, Brown y Hemmes (1994), propusieron una hipótesis alterna para dar cuenta de estos resultados. La llamaron "hipótesis del decaimiento del recuerdo". Basándose en un modelo de decaimiento de memoria, propusieron que el interruptor se abría con el inicio de la interrupción, con lo que el reloj dejaría de acumular el tiempo. Sin embargo, la memoria para el tiempo acumulado hasta antes de ocurrida la interrupción, sufre una pérdida que es relativa al tamaño de la interrupción. Así, interrupciones pequeñas provocan una pérdida pequeña del valor en memoria del tiempo transcurrido y conforme el tamaño de la interrupción crece, lo hace también la pérdida en memoria. De tal modo que una interrupción lo suficientemente grande, provocaría un tiempo pico similar a uno generado por la regla de reinicialización (recordando siempre que debido a que el decaimiento es exponencial y no lineal, la memoria no queda "vacía" en ningún caso). Estas afirmaciones fueron derivadas a partir de un experimento en el que variaron paramétricamente tanto la duración como la localización de la interrupción (ver Figura 1). Cabeza de Vaca et. al., tuvieron tres tipos de condiciones experimentales: una en la que variaban la duración de la interrupción, la segunda su localización y una tercera en la que se modificaban tanto la duración como la localización de la interrupción.

En la condición de localización, la interrupción siempre duraba 6s pero empezaba en distintos momentos del intervalo (3, 6, 9, 12 y 15s). Los tiempos pico que obtuvieron variaron linealmente respecto a la localización. Roberts (1981) había obtenido resultados distintos ya que él encontró que las interrupciones de duraciones iguales pero en localizaciones distintas producían desplazamientos en el tiempo pico que no fueron significativamente distintos entre sí.

Es así como Cabeza de Vaca, et al., concluyen que ambas reglas o modos de operación (detención-retención y reinicialización) no son mutuamente excluyentes, sino que más bien representan los extremos de un proceso único de estimación.

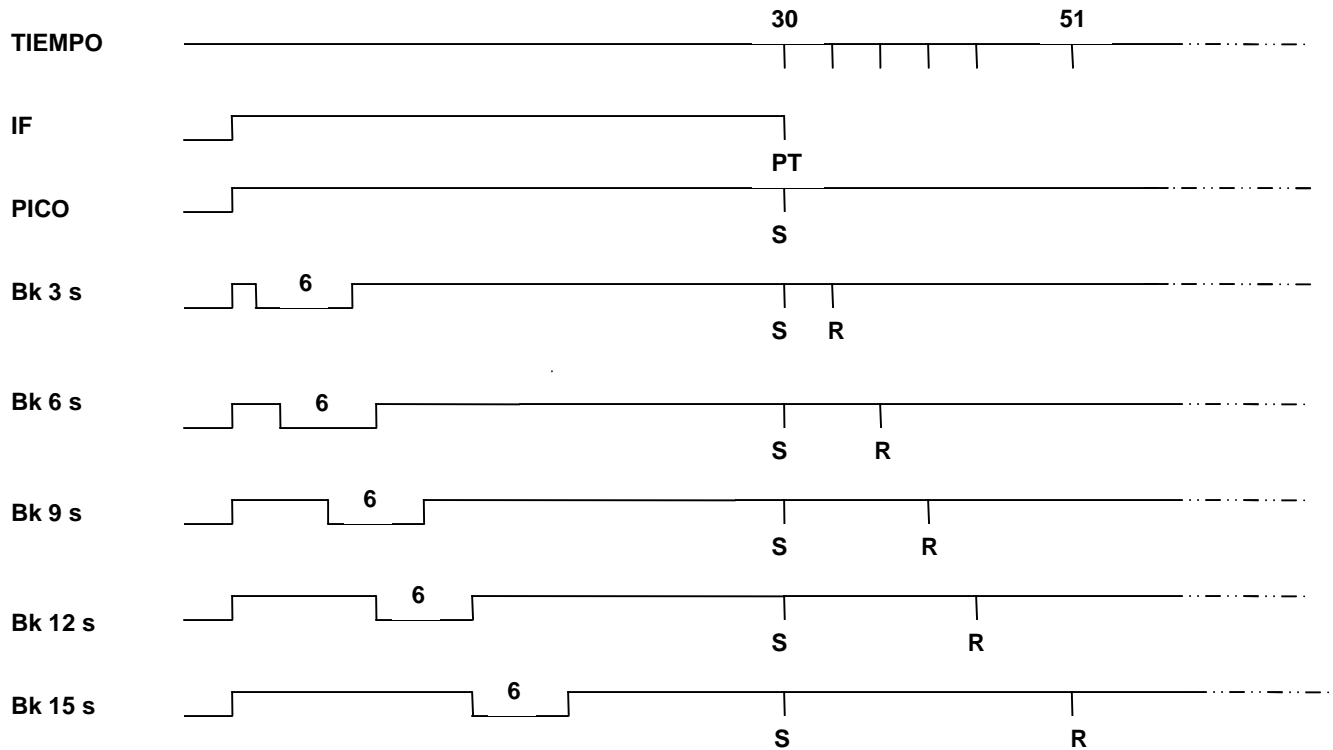


Figura 1. Esquema del procedimiento utilizado por Cabeza de Vaca et al. en el experimento del decaimiento del recuerdo

EXPLICACIONES EN TÉRMINOS DE CONTROL DISCRIMINATIVO

Kaiser, Zentall y Neiman (2002) formulan la “hipótesis de ambigüedad instruccional” para explicar el decaimiento del recuerdo sugerido por Cabeza de Vaca et al. (1994). Argumentan que las interrupciones son muy similares a los intervalos entre ensayos (IEE´s) y que esta semejanza podría provocar que los animales respondieran ante las interrupciones como si fueran intervalos entre ensayos y reiniciaran el reloj, resultando así que interrupciones más largas provoquen el re inicio del procedimiento de estimación temporal ya que una interrupción larga es todavía más parecida a un IEE. Lo que hicieron para probar esta hipótesis fue crear dos condiciones distintas: en la de control, las condiciones estímulo de la interrupción y el IEE eran las mismas, en tanto que en la condición experimental, se manipularon las condiciones ambientales (de la interrupción y del IEE) de manera tal que fueran distintas una de la otra (iluminación vs oscuridad). Entrenaron a pichones con un procedimiento de pico similar al utilizado por Cabeza de Vaca et al. (1994) en el que introducían interrupciones de 6 y de 15s localizadas en distintos momentos del ensayo (temprana y tardía, respectivamente) después de lo cual, la mitad de los pichones fueron entrenados con un IEE oscuro y la otra mitad con un IEE iluminado. Reportan que cuando las condiciones del IEE eran iguales a las condiciones ambientales (ambos IEE e interrupción oscuros o iluminados), ocurría un desplazamiento del pico más grande que cuando las condiciones ambientales eran distintas al IEE (cuándo uno estaba iluminado y el otro no). Para las distintas duraciones que manipularon, cuando las condiciones de iluminación durante la interrupción son distintas de las del IEE, los pichones respondieron como si hubieran mantenido en la memoria el tiempo transcurrido antes de la interrupción y agregaran ese valor a la memoria una vez que el estímulo es presentado de nuevo, mientras que la regla adoptada por los animales cuando las interrupciones son iguales a las condiciones ambientales, fue semejante a la de reinicialización (Kaiser, Zentall y Neiman, 2002).

Más evidencia favorable a esta hipótesis, es la que proporcionan Zentall y Kaiser, después de haber realizado un experimento en el cual entrenaron a aves en una tarea de discriminación condicional de intervalos. En su manipulación, Zentall y Kaiser entrenaron a pichones para poder elegir un estímulo de comparación después de la presentación de una señal larga (10s), y otro estímulo de comparación luego de la presentación de una señal corta (2s), ambos separados por un IEE oscuro o iluminado. En la fase de prueba, introdujeron entre la

presentación de los estímulos de comparación una demora que variaba en su duración y que era iluminada en unos ensayos y oscura en otros. Hallaron que, de acuerdo con la hipótesis de ambigüedad antes propuesta, cuando la iluminación de la demora era igual a la iluminación del IEE (ambos iluminados o ambos apagados), las funciones de retención eran divergentes. Pero cuando la iluminación era distinta a aquélla del IEE durante la fase de entrenamiento, entonces las funciones de respuesta para el recuerdo eran paralelas. De esta manera, cuando la ambigüedad entre la demora y el IEE se reducía, emergían un solo modo de operación (re inicio), cuando aumentaba, aparecían los dos.

También se propone otro aspecto adicional que tiene influencia sobre el proceso de estimación temporal. Después de haber revisado las diferencias entre especies que habían sido documentadas bajo procedimientos que involucraban la inserción de una interrupción (las ratas tendían a usar la regla de detención-retención de acuerdo a lo reportado por Roberts, 1981 y Church, 1978, mientras que las aves utilizaban una regla de reinicialización según lo hallado por Cabeza de Vaca et al., 1994); Buhusi, Perera y Meck (2005) argumentan que la saliencia de la interrupción o el grado de contraste entre la señal a ser estimada y la interrupción misma, tienen un efecto directo en el modo de operación del presunto reloj interno. Aseguran que el recuerdo para el tiempo transcurrido antes de la interrupción decae durante la misma a una tasa proporcional a su saliencia. Así, cuanto más intenso sea el estímulo, la interrupción será más saliente o notoria lo que provocará que el recuerdo de la señal decaiga con mayor rapidez. Esta hipótesis se conoce como "Hipótesis de Saliencia", y predice también que entre más larga sea la interrupción, más se verá acortada el recuerdo de la duración de la señal (como lo propuesto por Cabeza de Vaca et al., 1994).

Los investigadores hicieron un estudio comparativo entre ratas albinas y pigmentadas y reportaron evidencia a favor de esta hipótesis: las ratas albinas- que tienen una pobre capacidad de discriminación visual- detenían la estimación sin importar la duración del gap mientras que ratas pigmentadas que tienen una buena capacidad de discriminación visual, detenían su procedimiento de estimación cuando eran enfrentadas a interrupciones cortas pero lo re-iniciaban cuando se trataba de interrupciones largas. Mas aún, las ratas pigmentadas detenían su reloj cuando se les presentaba un señal visual de baja intensidad y lo re-iniciaban bajo una señal

de alta intensidad, todos estos resultados apoyan la idea de que la saliencia percibida de la interrupción afecta el recuerdo del tiempo posiblemente debido a un mecanismo atencional.

En otro trabajo, Buhusi, Sasaki y Meck (2002) utilizaron tanto a sujetos roedores como a pichones en un procedimiento de interrupción en que manipulaban la intensidad del estímulo a ser estimado y descubrieron que *ambas* especies detenían el procedimiento de estimación temporal cuando se les presenta una interrupción no saliente y que re-inician el procedimiento si son expuestas a interrupciones salientes. Sus resultados sugieren que ambas especies utilizan estrategias de estimación similares a diferencia de las investigaciones previas que han demostrado que las ratas tienden a detener el reloj durante la interrupción mientras que las aves lo re-inician.

Los animales pueden estar aprendiendo a re-inicializar su reloj una vez que ocurre la presentación del reforzador o del IEE. Cuando a un procedimiento de gap se le introducen ensayos de prueba no reforzados, el IEE es todavía una clave para detectar la necesidad de re-iniciar el reloj. Pero, ¿qué característica o aspecto del IEE es el que sirve para iniciar dicho comportamiento? Bien, el grado de saliencia de la señal a ser estimada es un factor influyente como se ha dicho. Si la señal es lo suficientemente distintiva, entonces el inicio de un IEE será un cambio notorio en el estímulo ya que finaliza la señal y entonces pudiera darse la reinicialización del reloj. En ensayos con interrupciones, las cuales son finalmente cambios en el estímulo al igual que los IEE, el animal debería re-iniciar su reloj como lo ha aprendido con los IEE. Cuando la señal a estimar es lo suficientemente saliente, el re-inicio ocurrirá, sin embargo en el caso en que la señal no fuera lo suficientemente saliente como para producir un verdadero contraste entre ésta y la interrupción, entonces el animal pudiera aprender que la interrupción misma es un IEE y entonces re-iniciar el reloj, especialmente si la duración de la interrupción es larga, condición en la cual es todavía más semejante al IEE.

Buhusi, et al. (2005), también reportaron que cuando se utilizaban señales visuales, las ratas pigmentadas (recordando su mayor sensibilidad a los estímulos visuales) tendían a re-iniciar el reloj siempre y cuando la interrupción era relativamente larga y la señal relativamente brillante.

Conclusiones distintas fueron alcanzadas por Buhusi y Meck (2000) al utilizar un procedimiento llamado “procedimiento de pico con interrupción (gap) invertido”. En la Figura 2 se presenta de manera esquemática el procedimiento.

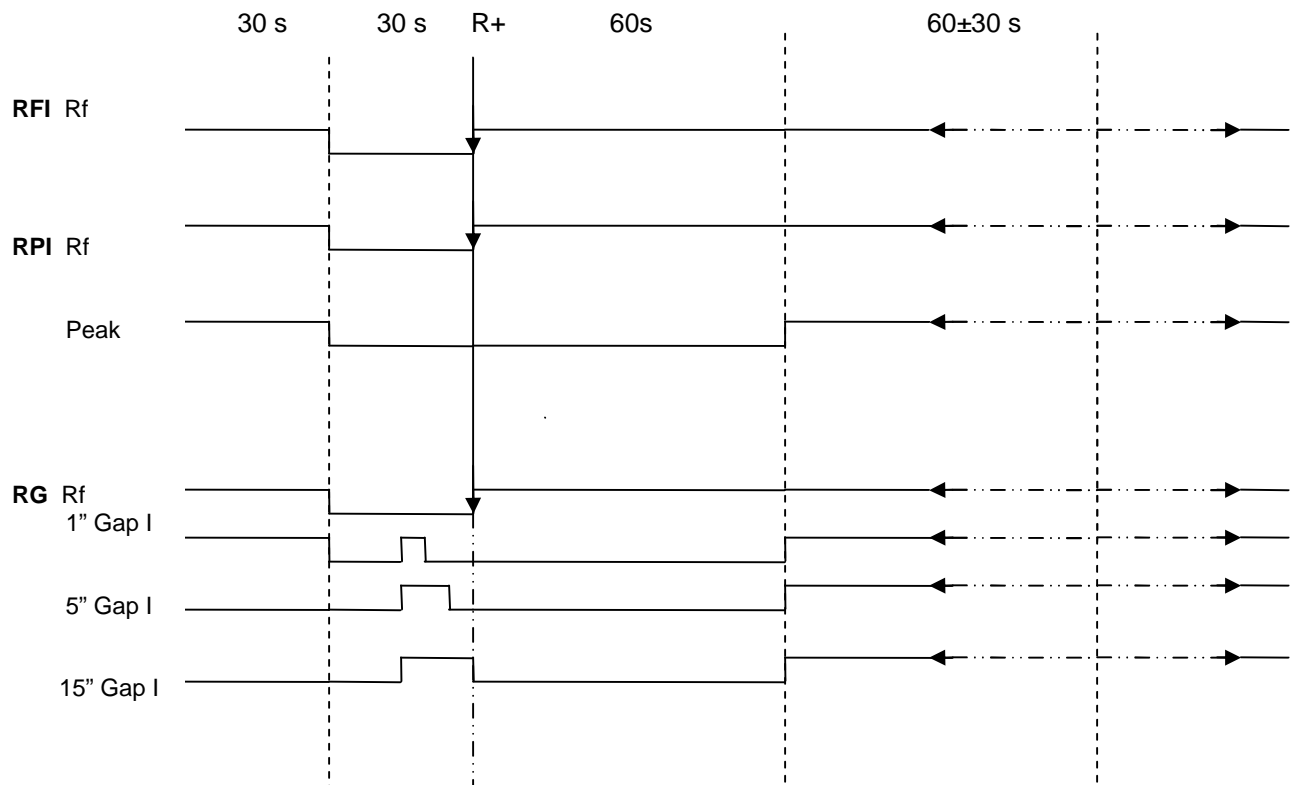


Fig. 2 Esquema del procedimiento de gap invertido Experimento 3 (Buhusi y Meck, 2000).

En una primera fase, se entrena al animal en un “intervalo fijo invertido “(RFI por sus siglas en inglés) que consiste en la presentación de una señal (Buhusi y Meck utilizaban luz o sonido, dependiendo del ensayo) durante 30s, después de los cuales finaliza, permaneciendo así durante otros 30s, la primera respuesta después de transcurrido este tiempo es reforzada y la señal es reiniciada para la duración del IEE que variaba entre 150s ± 30s.

La segunda fase denominada “procedimiento de pico invertido” (RPI por sus siglas en inglés) en la que se mezclaban ensayos como los anteriores con ensayos de prueba/pico, en los que no había señal, y que duraban en promedio tres veces más que la duración criterio de la primera fase (90s). Después de transcurrido este tiempo la señal era re-iniciada independientemente de la presencia o ausencia de la respuesta. Nuevamente, los ensayos se separaban por un IEE de duración variable entre $150s \pm 30s$.

La tercera fase, la de gap invertido o RG en inglés, las ratas recibieron ensayos idénticos a los de la primera etapa y además recibían ensayos de prueba con tres duraciones de gap distintos: 1, 5 y 15s distribuidos al azar. Los gaps eran introducidos a los 15s de la ausencia de la señal. Después de finalizado el gap, la señal desaparecía durante un lapso de tres veces más de la duración criterio de la primera fase (30s) y era re-iniciada para la duración del IEE ($150s \pm 30s$).

Con duraciones del gap de 1, 5 y 15s, respectivamente, las ratas en el procedimiento de interrupción invertido usaron la regla de reinicialización parcial o total del proceso de estimación temporal, al contrario de los hallazgos de Roberts (1981) en los que la rata utilizaba la regla de la detención con duraciones de 15s o menos.

De acuerdo a lo anteriormente revisado, el procedimiento de interrupciones invertidas demostraba que no sólo la duración sino también la naturaleza del estímulo a ser estimado puede tener efectos importantes en cómo los animales responden ante una interrupción.

En un procedimiento que se asemejaba al de Cabeza de Vaca et al (1994), Buhusi et al (2006), encontraron que sin importar ni la localización ni la duración de la interrupción, un incremento en el contraste entre la señal y la interrupción provocaba un mayor desplazamiento de la función de respuesta. Argumentan que el tiempo acumulado (almacenado en la memoria de trabajo) decrementa durante la interrupción a una tasa proporcional a la saliencia percibida de la misma; mientras que la saliencia es afectada por el grado de contraste percibido entre señal e interrupción. A esto le llaman “control de la saliencia de la interrupción sobre la repartición del

tiempo“. Para evaluar esta hipótesis, los autores manipularon el grado de contraste entre la señal y la interrupción así como la duración y localización de la interrupción misma y obtuvieron datos en los cuales se demostró que los tres parámetros (contraste, localización y duración) afectan la conducta de estimación temporal.

La manipulación fue la siguiente, en los ensayos pico tenían tres tipos de interrupciones:

“tempranas” que iniciaban una vez transcurridos 6s del intervalo y duraban 6s;

“tardías” que iniciaban a los 15s del intervalo y duraban 6s y

“largas” que iniciaban a los 6s pero duraban 15s.

Para cada una de estos tipos de interrupciones, la señal a ser estimada (un rectángulo de luz blanca) era presentado inicialmente durante el tiempo del ensayo previo a la introducción de la interrupción, sin ningún grado de contraste (es decir, blanco), después de lo cual el grado de contraste se fijaba en uno de los siguientes niveles: 60%, 80% ó 100% (es decir, negro). Encontraron que, independientemente de la localización y duración de la interrupción, cuando ésta es menos discriminable (es decir, cuando no hay mucho contraste entre la interrupción y la señal) la conducta de los sujetos prácticamente no se veía afectada. En cambio, cuando el grado de contraste se incrementaba, ocurría un desplazamiento de la respuesta semejante a aquel observado cuando los sujetos utilizan la regla de detención-retención o la de reinicialización. De hecho, el mayor desplazamiento fue observado cuando el nivel de contraste era del 100% sin importar localización o duración. Explican los datos obtenidos a partir de la hipótesis de *“repartición del tiempo”* junto con la interpretación del desvío de la atención, previamente descrita por Fortín (2003) en la que se argumenta que, en un procedimiento de interrupciones, la tasa del decaimiento del recuerdo es afectada por parámetros no temporales. Los eventos de mayor saliencia provocan la desviación de la atención y de los recursos de memoria de la tarea de estimación temporal de manera tal que el valor acumulado al momento de la introducción de estos eventos, no puede ser retenido, con la consecuente pérdida del recuerdo y desplazamiento de la función de respuesta.

EXPLICACIONES EN TÉRMINOS DE ATENCIÓN

Buhusi (2003 en Buhusi y Meck, 2006), argumenta que es la re-asignación de recursos atencionales la que da origen a un decaimiento en el recuerdo proporcional a la saliencia del evento interruptor. Lo llama “evento interruptor” en vez de interrupción, pues propone que no sólo una interrupción como tal afectará el proceso de estimación temporal, sino que el proceso puede verse igualmente afectado por un cambio en la señal a ser estimada que sea lo suficientemente saliente o distinto. Dentro de su propuesta, el proceso de decaimiento del recuerdo a) ocurre debido a un proceso que es concurrente a la estimación temporal, es decir, que opera durante todo el proceso de estimación temporal y no solo durante la interrupción, y b) se activa cada vez que un elemento no-temporal de la tarea, no solo una interrupción, sino también un evento novedoso o distractor, compromete al proceso general de estimación temporal.

Por otro lado, la predicción de hipótesis como la de decaimiento del recuerdo o la de la ambigüedad con respecto a la introducción de un elemento distractor, más no una interrupción, es que no debería afectarse el proceso de estimación temporal, es decir, no debería de provocar ningún tipo de desplazamiento en las medidas de tiempo y tasa pico ya que, un elemento distractor no es la ausencia de la señal a ser estimada, sino que es un estímulo que se añade a la señal sin que ésta se vea interrumpida.

Después de la realización de un experimento, llegaron a la conclusión que los efectos de un elemento distractor y los de una interrupción, ya sea solos o en una presentación simultánea, provocan alteraciones en el proceso de estimación temporal, suscitando cambios tanto en la tasa (la cual decrementaba) como en el tiempo pico (el cual se desplazaba a la derecha con una duración que siempre caía entre los valores esperados para ambas reglas: detención y reinicialización). Todo esto sugiere que ambos tipos de eventos, distractores o interrupciones, afectan al proceso de estimación temporal de manera similar, posiblemente por medio de procesos comunes relacionados a la re-asignación de recursos atencionales o de memoria (Buhusi y Meck, 2006).

Este efecto de la localización de la interrupción también ha sido probado en sujetos humanos. Algunos autores (Fortín, 2003; Burle y Casini, 2001) han postulado que en los humanos, la atención juega un papel de suma importancia en el proceso de estimación temporal. Supuestamente, cuando la atención está concentrada en el tiempo como dimensión a ser atendida el número de pulsos acumulados es mayor, provocando así un juicio sobrevaluado de la duración de un intervalo. Al estar la atención concentrada en tareas secundarias de tipo perceptual, aritmético-mental o motrices, efectuadas de manera simultánea a la estimación de la duración, ocurre una subestimación del tiempo transcurrido (e.g., Brown, 1985, 1995, 1997; Hicks, Miller, Gaes y Bierman, 1977; Hicks, Miller y Kinsbourne, 1976; Macar, Grondin y Casini, 1994; Zakay, 1989; Zakay, Nitzan y Glicksohn, 1983, citados en Buhusi y Meck, 2006). Entonces, la apertura o cierre del interruptor localizado entre el generador y el acumulador está bajo el control de la atención (Church, 1989, citado en Fortín, 2003) ya que el desvío de la atención hace que el interruptor se abra y no permita la acumulación de pulsos.

Esta interrupción en la acumulación ha sido estudiada en experimentos en los que los sujetos ejecutan tareas concurrentes. La realización de una tarea adicional provocaba el acortamiento subjetivo del intervalo a ser estimado. La tarea podría ser considerada como una interrupción a la señal (tal como en el procedimiento de gap o de interrupciones). Sin embargo, era necesario probar el efecto de la interrupción de una señal como tal y no en la forma de otra tarea. Para esto, Fortin y Massé (2000 en Fortin, 2003), diseñaron una tarea de producción en la que el sujeto era entrenado para producir un intervalo de tiempo (2500 msec) por medio de la presión de un botón al iniciar el intervalo y otra presión al concluirse la duración a ser producida. Un tono era presentado durante la totalidad de la duración del intervalo desde la primera opresión hasta el final de la segunda opresión del botón. Después de esta fase de entrenamiento, introdujeron ensayos en donde la señal (tono) era interrumpida por un silencio de distintas duraciones (2, 3 ó 4 s), que ocurría en distintos momentos y posterior a la primera opresión.

El ensayo con interrupción podía ser dividido en tres partes:

- a) el periodo antes de la interrupción, que sucedía entre la primera opresión del botón y la aparición de la interrupción (esto es igual a la localización de la interrupción),

- b) la interrupción misma y
- c) el periodo después de la interrupción, que se define como el tiempo transcurrido entre la finalización de la interrupción y la segunda opresión del botón. (ver Figura 3)

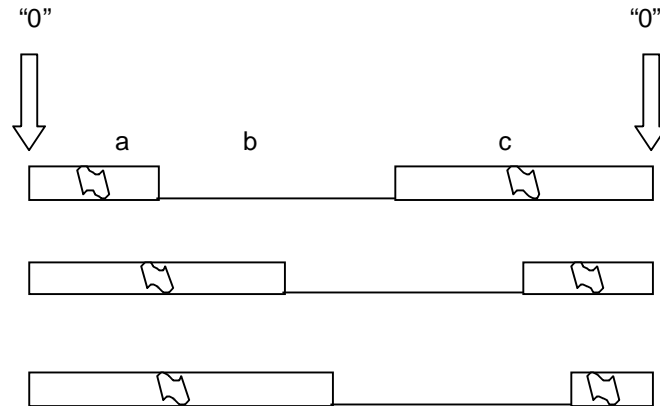


Figura 3. Esquema de la manipulación de Fortin y Massé (2000 en Fortin, 2003). Los recuadros (a y c) representan la señal sonora, y la línea recta entre ellos (b) a la interrupción. Las flechas indican los dos momentos en los que el sujeto debía oprimir la tecla marcada con un cero, para indicar que la señal iniciaba o finalizaba.

La tarea consistía en oprimir por segunda vez cuando la suma de *a* y *c* equivaliera a la duración a ser producida (2500 mseg en el ejemplo). Con este diseño, los sujetos se veían obligados a estimar el tiempo entre *a* y *b* para entonces *detener* la estimación durante la interrupción y continuarla después de finalizada ésta, hasta que consideraran que el tono había durado lo mismo que el intervalo objetivo.

En el experimento 2 de Fortin y Massé (2000), manipularon tanto la localización como la duración de la interrupción. Ésta podría durar 2000, 3000 ó 4000 mseg, e iniciarse después de haber transcurrido 800, 1300 ó 1800 mseg del tono. Pensando en una comparación con el procedimiento de gap utilizado en animales, si los

humanos hubieran utilizado la regla de detención – reiniciación, habrían producido intervalos de 2500 msec, es decir, el valor no se vería afectado por la duración ni por la localización de la interrupción. En cambio, los resultados que obtuvieron indican que el tamaño del intervalo producido incrementaba proporcionalmente con el valor de la localización de la interrupción, pues los sujetos produjeron intervalos de 2.8, 2.9 y 3.1s de duración, en localizaciones de .8, 1.3 ó 1.8s, respectivamente. Así, las interrupciones más tardías (a los 1800msec), generaban intervalos más grandes (3.1s) al igual que lo encontrado por Cabeza de Vaca et al. (1994).

¿Cómo explicaron los autores el efecto de la localización de la interrupción en humanos? Argumentan que, durante el periodo que transcurre antes que la interrupción comience, el sujeto divide su atención entre la acumulación de pulsos y el tono, por lo que pierde parte de los pulsos acumulados, provocando que el número criterio de pulsos sea alcanzado más tarde de lo establecido. Es decir, al producir un intervalo de 2500 msec después de una interrupción a los 800msec, los sujetos finalizaron la producción de dicho intervalo a los 2800 msec y mientras más tardía fue la interrupción más grande fue el intervalo producido. Si el número de pulsos hubiera sido alcanzado en el tiempo adecuado, habrían producido intervalos más cercanos a los 2500 msec. Según Fortin y Massé (2000), el hecho de estar dividiendo la atención entre ambos eventos, provocaba la pérdida de pulsos y la subsecuente subestimación del intervalo. Después de finalizada la interrupción, la tasa de acumulación regresa a su velocidad normal. El desplazamiento en el tiempo pico sería mayor entre más tardía fuera la interrupción ya que ésta equivaldría a un periodo pre interrupción más largo, lo cual provocaría una mayor divergencia de la atención hacia la señal y una tasa de acumulación más lenta o una pérdida en la acumulación de pulsos. Esto se conoce como la *interpretación de desvío de la atención*.

De este modo, el estudio de Fortin y Massé demostraba el efecto de la localización de la interrupción en un diseño en el que no intervinieran tareas concurrentes. Sin embargo, los sujetos esperaban la ocurrencia de una interrupción variable que pudo haber sesgado sus respuestas, lo que podría constituir una explicación alterna al alargamiento del intervalo producido. Para descartar esta posibilidad, en otro experimento, Fortin y Massé (op cit) crearon tres tipos de ensayos:

- 1) ensayos sin interrupción,
- 2) ensayos con interrupción que era anunciada al principio del intervalo y
- 3) ensayos con interrupción no anunciada.

De acuerdo a la hipótesis de desvío de la atención, se esperaba que los intervalos resultantes más grandes fueran producto de la manipulación en la que la interrupción era anunciada, hallazgo que fue confirmado.

Resultados similares se encontraron usando dos condiciones en las cuales variaba la probabilidad de un ensayo con interrupción. En una, el 92% de ensayos tenían interrupciones y en otra tan sólo un 46%. A los sujetos tan sólo se les decía en las instrucciones que “la mayoría” de los ensayos tendrían interrupción (condición 92%) mientras que al otro grupo le decían que “algunos” de los ensayos tendrían interrupción. Los intervalos más grandes fueron producidos por el grupo de la condición de 92% y, entre más tarde ocurriera la interrupción, más grande era el intervalo producido en ambas condiciones. Las diferencias entre los intervalos producidos en ambas condiciones eran entonces proporcionales al periodo transcurrido antes de la interrupción.

Diversas investigaciones se han realizado ya en las que se habla de la influencia que tiene la adición de tareas no temporales en el desempeño en una tarea de estimación temporal en humanos. Se ha demostrado, en general, que entre mayor sea la carga atencional requerida para la realización de la tarea alterna, peor es el desempeño en la estimación de un intervalo ya que del conjunto de recursos atencionales de un individuo gran parte de estos recursos es necesaria para una estimación adecuada. Si se asignan muchos de estos recursos para la realización de otras tareas simultáneas al procesamiento temporal, el desempeño en éste último se ve seriamente afectado. Sin embargo, no ha sido precisado de qué manera la atención actúa sobre el procesador temporal. Se ha hipotetizado que quizá exista una compuerta adicional, localizada entre el generador y el interruptor, que medie el efecto de la atención. Así, cuando la atención se dedica a la tarea de estimación, la compuerta se abre más y permite el paso de un mayor número de pulsos al acumulador. Otras propuestas han ideado que quizás la interrupción de la atención sobre la tarea temporal pudiera detener la acumulación de

pulsos mediante la apertura del interruptor o bien, mediante la variación de la tasa del generador (Casini y Macar, 1997 en Burle y Casini, 2001).

Burle y Casini se preguntaron si los niveles de activación y de atención actúan sobre el mismo dispositivo o en distintas partes del mecanismo de estimación temporal. El nivel de activación típicamente se considera que afecta la tasa del generados de pulsos, mientras que la manera en la que la atención afecta la estimación temporal, continúa siendo un tema de discusión (Burle y Casini, 2001). Los autores manipularon los niveles de atención y activación para observar los efectos de esto en una tarea de estimación temporal. Referente al patrón de interacción entre estas dos variables sobre la estimación, existen tres posibles modelos.

En el primero, ambas activación y atención afectan a procesos distintos: la primera afecta la apertura del interruptor en una forma de todo o nada, cuando la atención es dirigida a la tarea alterna a la estimación, el interruptor se abre y no se acumulan pulsos algunos durante dicha apertura. Así, el tiempo crítico se alcanzaría después de una duración equivalente a la dedicada a la otra tarea (a la interrupción).

En el segundo modelo, la activación sigue afectando la tasa del generador pero la atención determina si la compuerta alterna (la propuesta por Zakay y Block, 1995 en Burle y Casini, 2001) se abre mas o menos. De acuerdo a Zakay y Block, la compuerta transmite una parte de los pulsos generados al acumulador, la proporción transmitida depende de la atención dedicada al tiempo, entre más atención, la compuerta se abrirá más y un mayor número de pulsos será transmitido. Debido a que la tasa del generador incrementa si existe un mayor nivel de activación, ésta y la atención debieran tener efectos multiplicativos.

De acuerdo al tercer modelo, la atención y activación afectan a un componente común, al generador de pulsos, así los efectos de ambos interactúan para afectar la cantidad de tiempo estimado pero no necesariamente de manera multiplicativa.

Para poner a prueba los tres modelos, usaron una tarea de elección de tiempo de reacción junto con una tarea de producción temporal de manera simultánea. Para asegurarse que la tarea de TR (tiempo de reacción) no sirviera como marcador temporal, hicieron que se presentara en momentos distintos de la tarea de producción, estas tareas manipulaban los niveles de atención. Para manipular la activación, se les presentaba a los sujetos series de chasquidos a distintas intensidades, una intensidad mayor suponía un mayor nivel de activación, ésta era de 77dB mientras que la baja era de 62dB.

La introducción de manipulaciones que presuntamente influenciaban el nivel de activación y atención afectó las duraciones producidas. Los participantes producían duraciones mayores cuando realizaban las dos tareas y la intensidad de los chasquidos era alta, sugiriendo así un decremento en la acumulación de pulsos en ambos casos. Sus resultados están a favor de la idea que la activación y la atención afectan dos procesos distintos (al generador e interruptor respectivamente) y que el interruptor funciona en una modalidad de todo o nada, como lo propuesto por el modelo 1. De manera consistente a esta interpretación, no se encontró interacción alguna entre la condición de atención y la intensidad de los chasquidos, lo cual sugiere que la atención y el nivel de activación actúan en dos distintos niveles de procesamiento temporal. Si la activación puede afectar la tasa del generador, se pudiera proponer que la atención afecta otro componente (ya sea la latencia de apertura del interruptor o bien la amplitud de la apertura de la compuerta alterna entre el generador y el interruptor). En resumen, estos hallazgos sugieren que la activación afecta la tasa del generador y la atención afecta el proceso de acumulación (de pulsos) mediante su actuación directa sobre el generador haciendo que funcione en la modalidad de todo o nada.

Con todo lo anterior, quedaba demostrado que las manipulaciones que se realizan en la investigación de estimación temporal en animales inferiores, producen resultados similares en sujetos humanos. En la siguiente sección se reportan resultados de otros estudios que proporcionan evidencia de la posible participación de otros mecanismos en el modo de operación del reloj interno.

HALLAZGOS QUE FAVORECEN OTRAS INTERPRETACIONES DE LOS MODOS DE OPERACIÓN DEL RELOJ INTERNO

Con el objetivo de evaluar si las ratas son capaces de estimar simultáneamente dos intervalos, señalados por estímulos de distintas modalidades, Meck y Church (1984) realizaron un experimento en el que utilizan el procedimiento de pico, mezclando ensayos reforzados (IF 50s) con ensayos no reforzados (pico), señalados ambos por una luz. Los ensayos estaban separados por un intervalo entre ensayos (IEE) de 130s. En los ensayos pico en los que se introduce la señal sonora, las interrupciones aparecían cada 10s (0, 10, 20, 30, 40, 60, 70, 80, 90, 100, 110 y 120) con excepción del segundo 50. Reportaron los resultados para los primeros 100s del intervalo. Lo que encontraron fue que para los ensayos con la señal completa (sin interrupciones) se formaba una función de distribución normal con un pico a los 50s; mientras que para los ensayos con interrupciones hallaron decrementos en la tasa de respuesta alrededor de los momentos de la introducción de la señal así como también a los segundos 51 y 52, alrededor del tiempo de la señal omitida (50s). El tiempo pico en esta función estuvo muy cercano al tiempo real del reforzamiento (no se afectó a causa de las interrupciones).

En el procedimiento de pico con señales sonoras, en la primera parte de la función (mitad del intervalo antes del tiempo en que usualmente se entregaba el reforzador) se observó un patrón con caídas en la tasa de respuesta al iniciar la señal de ruido y festones, mientras que en los valores concéntricos localizados en la segunda mitad del intervalo, se observaron caídas en la tasa de respuesta con ligeras recuperaciones que se presentaron cada vez que fue introducida la interrupción. Es importante resaltar el hecho de que este patrón particular de respuesta se dio una vez transcurrido el tiempo esperado de reforzamiento. El decremento en la respuesta que presentaron los sujetos fue de tipo anticipatorio y no reactivo ya que ocurría después de los 50s en los que no se interrumpía la señal. Sin embargo, la forma de la función de respuesta era distinta para cada lado de la curva. La asimetría en el patrón de festón observada podía ser explicada por la regla de integración del estímulo que fue usada. En el lado izquierdo de la función de pico, mientras el tiempo transcurre en ambas señales, la completa y la señal de sonido, la proximidad esperada del reforzador incrementa. En el lado

derecho de la función de pico, mientras el tiempo avanza en la señal segmento, la proximidad esperada para el reforzamiento continúa incrementando, pero mientras el tiempo de la señal completa transcurre, dicha expectativa del reforzamiento decrementa.

Los anteriores resultados muestran un efecto invariable de la introducción de interrupciones en la señal a estimarse: entre mayor sea la tasa de respuesta al momento de introducir la interrupción, mayor será la caída que provoca dicha interrupción sobre la tasa. Además, las caídas en la tasa de respuesta se acompañan de posteriores recuperaciones. ¿Es posible que los desplazamientos de la función de respuesta en los ensayos de prueba con interrupciones se deban a este comportamiento de la tasa de respuesta? Kaiser et al., ya habían señalado la confusión entre localización de la interrupción y tasa de respuesta vigente al momento de interrumpir la señal, pero no hicieron referencia a los procesos que están determinando los cambios en la tasa en este tipo de ensayos.

Por lo anterior, en seguida se presentan dos modelos desarrollados para explicar el aprendizaje temporal, en los que se proponen algoritmos para explicar los cambios en la tasa de respuesta a lo largo del intervalo. Con esta información se pretende proporcionar un contexto de interpretación alternativo a la idea del cronómetro, al decaimiento del recuerdo de la duración y las hipótesis atencionales, al fenómeno de los modos de operación del reloj interno.

APRENDIZAJE TEMPORAL

A pesar de esta vasta investigación que se ha realizado con respecto a la conducta de estimación temporal, poco se ha indagado acerca del desarrollo u origen de dicha conducta y la influencia que pudiera tener el aprendizaje sobre la aparición del patrón típicamente observado en los procedimientos de Intervalo Fijo (IF) y Procedimiento de Pico, en particular. Dicho cuestionamiento fue formulado por Kirkpatrick-Steger, Miller, Betti y Wasserman (1996), quienes investigaron el origen del patrón de respuesta en los ensayos pico y la posible influencia que un entrenamiento previo bajo esta modalidad pudiera tener en su desarrollo y / o establecimiento.

Se preguntaron lo anterior porque a partir de los planteamientos de la metáfora del reloj interno se puede inferir que los componentes del reloj deberían funcionar de manera continua e invariable en cualquier tarea temporal que se presente al organismo. En particular, en el procedimiento de pico la introducción de los ensayos pico debería producir el patrón de respuesta típico desde el primer ensayo. Si este fuera el caso se tendría evidencia de que, en efecto, existe algo semejante a un reloj con las propiedades postuladas encargado de estimar el tiempo. Si por el contrario el patrón de respuesta en los ensayos pico se desarrolla gradualmente, sería necesario analizar cómo se va estableciendo esta ejecución para así entender qué mecanismo permite este aprendizaje temporal.

Con el antecedente de que los pichones pueden discriminar dos intervalos distintos asociados a una señal externa (Cheng y Roberts, 1989; Leak y Gibbon, 1995; Ulrich, 1993 citados en Kirkpatrick-Steger, Miller, Betti y Wasserman, 1996), hipotetizaron que éstos podrían aprender a distinguir entre los ensayos de IF y los de IP, a pesar de estar ambos asociados a la misma señal. Para determinar si la exposición a ensayos pico pudiera afectar el control temporal de la conducta operante, diseñaron un procedimiento en el cual los sujetos eran sometidos a un entrenamiento con un IF 30s únicamente. Una vez que se hubo desarrollado el patrón típico de conducta de un IF 30s, fueron introducidos ensayos Pico de 120s de duración, que terminaban ya fuera en reforzamiento dependiente de la respuesta, o en extinción. Lo que pretendían averiguar era si el patrón de pico a los 30s sería observable desde la primera introducción de los ensayos pico y si la presencia o ausencia del reforzador pudiera ejercer algún control temporal sobre la conducta operante.

Después de un entrenamiento de IF 30s, Kirkpatrick-Steger, Miller, Betti y Wasserman (1996) programaron bloques de 50 ensayos, 10 de los cuales eran IP 120s y 40 IF 30s. La sesión iniciaba con 10 ensayos IF 30s, los cuarenta restantes eran divididos en 10 bloques de cuatro ensayos cada uno: tres de IF 30s y un IP 120s, todos distribuidos al azar. Crearon dos grupos, unos estaban en la condición reforzada (30+ / 120+) y recibían ensayos de 120s que terminaban en reforzamiento dependiente de la respuesta, pues las aves tenían que responder para terminar con el ensayo pico. Otro grupo estaba en la condición de extinción (condición no

reforzada 30+ / 120-) pues después de los 120s no había reforzador alguno y el ensayo pico terminaba por si solo sin que el ave tuviera que responder. El final del IP era señalado por el apagado de la luz de la caja y de la tecla. Esta condición de extinción corresponde al procedimiento de pico estándar.

Observaron que después del establecimiento del patrón de respuesta bajo el IF 30s, la introducción de ensayos pico no provocó la aparición del pico alrededor de los 30s sino que el patrón de conducta fue surgiendo conforme el entrenamiento transcurría. Otro hallazgo fue que en el grupo de condición no reforzada, alrededor de los días 25-30, la tasa de respuesta caía para después elevarse de nuevo alcanzando niveles muy semejantes a aquellos del pico formando así una especie de doble pico, uno ocurría a los 30s y otro alrededor de los 90s. Con el afán de ahondar más en este hallazgo, hicieron un experimento en el que variaban la razón entre el IF y el IP (1:8). Utilizando el mismo grupo de ratas de la condición no reforzada (30+ / 120-), las entrenaron bajo un IF 15s – IP 120, después lo regresaban al original 30+ /120- para luego convertirlo en un 30+ / 240-, condición que se mantuvo hasta el final del experimento. Observaron que las manipulaciones con una razón 1:8 (15+ / 120- y 30+ / 240-), no conseguían generar el patrón de doble pico como en la condición 30+ /120-. Debido a estos descubrimientos, decidieron probar con otras combinaciones de valores absolutos que mantuvieran la razón 1:4. Se entrenaron tres grupos de pichones, uno conservó los mismos valores de 30+ /120-, el segundo estuvo sometido a un 15+ /60- y el último a un 60+ /240-. Al normalizar, encuentran que las funciones de los tres grupos se superponen. Existió un pico alrededor del tiempo del reforzamiento y un segundo pico alrededor de tres veces el tiempo esperado del reforzador, volviéndose a encontrar el patrón de respuesta de BRBRB (“break-run-break-run-break” por sus siglas en inglés), en el 40.3% de los ensayos. Sin embargo, el surgimiento de dobles picos pudo haberse debido a que en todas las manipulaciones de 1:4, se utilizaron valores “armónicos” de 15 en el establecimiento de los intervalos (15+ /60-, 30+ /120- y 60+ /240-) y los picos eran observados en valores igualmente armónicos de 15 (15 y 45s, 30 y 90s y 60 y 180s). Con la finalidad de descartar esta explicación, en su Experimento 3, Kirkpatrick-Steger, et al, entrenaron a cuatro aves bajo un 38+ /152- y encontraron nuevamente que, usando la razón de 1:4, y que sin importar que los valores no fueran armónicos de 15, el doble pico aparecía y el patrón de respuesta BRBRB se presentaba en el 40% de los ensayos.

En el Experimento 4, sometieron a cuatro pichones a un entrenamiento 38+ /304-, lo cual constituía una razón de 1:8 para observar si se lograban generar tres picos. A este mismo grupo lo entrenaron más adelante con el ya utilizado 38+ /152-. Los picos dobles fueron encontrados únicamente en la manipulación 38+ /152-, en tanto que en la de 38 + /304- tan sólo se observó un pico después del cual la tasa de respuesta caía, sin llegar a cero, para mantenerse así el resto del intervalo. En realidad, en la manipulación 38+ /152- el segundo pico fue más bien un aumento gradual en la respuesta que se acercó mucho a la formación de un pico. En este experimento, el patrón de respuesta BR y BRB fueron los que predominaron en el 43.7% de los ensayos.

A diferencia del Experimento 4, en el Experimento 5 crearon una condición de 1:4:8 FI:PI:PI. Utilizaron a los sujetos del tercer experimento que habían sido entrenados con un 38+ /152-. Además de estos ensayos, intercalaron al azar otros 10 ensayos pico de 304s. Dos de sus cuatro sujetos mostraron cuatro ciclos de respuesta bien definidos. Las aves mostraban picos alrededor de los 38, 114, 190 y 266s y senos alrededor de los segundos 76, 152, 288 y 304s. Los dos sujetos restantes no presentaban dicho patrón de respuesta. No obstante, lo remarcable de esta investigación es el hallazgo de este patrón cíclico de respuesta que se generaba con IF e IP, con una razón de 1:4. Postulan que pudieran existir dos fuentes distintas para el aprendizaje de los patrones de respuesta ya mencionados: 1) aprender a presentar una tasa alta de respuesta alrededor del tiempo en el que la comida está disponible en los ensayos de IF y 2) aprender a contener las respuestas después que dicho tiempo crítico ha transcurrido en los ensayos de IP. Continúan diciendo que estas dos fuentes de aprendizaje no pueden ser aisladas en un procedimiento de pico normal en el que ambos ensayos pico y ensayos de IF son presentados simultáneamente desde el principio del entrenamiento, ya que el aprendizaje de ambos ocurriría de manera concurrente. Pero si primero se expone al sujeto a un entrenamiento de IF para *después* introducir los ensayos pico, es posible aislar ambas fuentes de aprendizaje. El patrón observado en el grupo reforzado (30+ / 120+) era la aparición de un pico alrededor de los 30s, una caída de la tasa de respuesta y un ligero levantamiento que continuaba plano hasta el final del ensayo. El patrón bajo esta condición es consistente con una interpretación de reforzamiento ya que éste estaba disponible en ambos momentos. Lo realmente sorprendente fue el hallazgo de los dobles picos en la condición

no reforzada (30+ / 120-). Dicho comportamiento no podía ser explicado por las teorías SET (teoría de expectancia escalar) de Gibbon (Gibbon y Church, 1984 citado en Kirkpatrick-Steger et al., 1996) ni por la teoría BeT (teoría conductual de estimación temporal) de Killeen y Fetterman (1988). Los autores proponen en su lugar el modelo conexionista de Church y Broadbent (1990, 1992 citado en Kirkpatrick-Steger, et al., 1996), en el que se propone la existencia de osciladores múltiples que se usan para estimar un intervalo (concepto similar al acumulador postulado por la teoría SET) que pudieran dar cuenta de la conducta cíclica hallada. Cada oscilador produce ciclos bajo un periodo de distinta duración ya sea corto (p.e., 0.2s) o largo (p.e., 204.8s). Estos a su vez envían información a unos indicadores de estado que almacenan la fase en la que se encuentre dicho oscilador. El inicio de las fases del oscilador es enviado a ambos tipos de memoria: la de referencia y la de trabajo, en donde son transformadas en matrices de pesos asociativos. La decisión acerca de la producción de la respuesta es una función de qué tan similares son los valores actuales de los osciladores, en un ensayo dado, y los valores almacenados en la matriz de la memoria de referencia. Si la similitud sobrepasa un umbral, entonces se producirá un patrón de respuestas elevado. El patrón de razón 1:4 (IF: PI) podría ser explicado por este modelo si pensamos que esta razón pudiera haber activado un conjunto determinado de osciladores que originasen un patrón periódico de respuesta. La importancia de la aparición de un patrón de dobles picos es que no hay razón externa aparente para que estos se desarrollen, pareciera que fueran “internamente generados” por el animal. Además, el trabajo de Kirkpatrick-Steger, Miller, Betti y Wasserman, mostró que el patrón de respuesta bajo un procedimiento de pico es producto del aprendizaje.

Otra propuesta acerca de cómo se produce el aprendizaje temporal es LeT (Learning to Time, en inglés), de Machado (1997). El modelo describe tres procesos básicos de los cuales se deriva la conducta temporalmente controlada:

1. Estados conductuales:

Supone la existencia de marcadores temporales que son predictores confiables del reforzador los cuales activan una serie de estados conductuales que pueden ser bien elicitados, inducidos, adjuntos, interinos o terminales y ocurren en distintos momentos del intervalo. La activación de cada estado es dependiente del tiempo y de un parámetro (λ) que regula la velocidad con la que la activación se distribuye a lo largo de los estados.

2. Asociaciones aprendidas

Este es el componente de aprendizaje del modelo que describe cómo los mencionados estados conductuales adquieren control de la respuesta operante. Cada estado está asociado en determinado grado a la operante y este grado o fuerza de asociación cambia en el tiempo real. Decrementa cuando está ocurriendo una extinción e incrementa cuando el reforzador está disponible. Ambos decremento e incremento suceden de manera proporcional al grado de activación del estado conductual: uno que esté muy activado hace que sus lazos asociativos cambien mucho más que uno que esté poco activado.

3. Regla de Respuesta

La fuerza de la operante se obtiene mediante la sumatoria del grado de discriminabilidad de todos los estados, es decir sus vínculos asociativos, cada uno de los cuales es multiplicado por el grado de activación de cada estado. Así, los estados que estén fuertemente activos y fuertemente asociados con la respuesta, tendrán mayor control sobre ésta que aquellos estados más débiles (Machado, 1997).

El autor describe a su modelo como conductual (no cognitivo, conexionista o neurofisiológico) dado que enfatiza el papel que tiene la conducta del animal, aunado a sus interacciones con el medio ambiente, para el desarrollo del control temporal de la conducta y dinámico, pues subraya la importancia de los cambios provocados por programas basados en el tiempo que son capturados en las ecuaciones propuestas, además de pretender explicar los procesos que ocurren en el transcurso del tiempo real.

Después de haber puesto a prueba su modelo mediante una simulación, identificó cuatro etapas en el proceso de adquisición de la conducta temporalmente regulada bajo un entrenamiento de un IF, precedido por unas cuantas sesiones en reforzamiento continuo. En la primera etapa que corresponde al primer ensayo, la conducta incrementa rápidamente al inicio del intervalo para después caer hasta cero formando un festón invertido; después de 65 ensayos (etapa 2) la tasa de respuesta se eleva al inicio del intervalo entre reforzadores (IRI, por sus siglas en inglés) y se mantiene más o menos constante hasta finalizado el intervalo, generando una línea recta, a los 200 ensayos; en la tercera etapa, la tasa de respuesta no incrementa mucho después del reforzamiento y surge un pequeño festón. Una vez que se llega a la cuarta etapa, el modelo se encuentra en un estado estable en el que el festón se ha desarrollado claramente. Dicha secuencia conductual en la adquisición del patrón de respuestas bajo un IF había sido reportada antes por Ferster y Skinner (1957 en Machado, 1997). Además, el modelo LeT logró reproducir de manera adecuada el comportamiento bajo los procedimientos de pico, estimación de dos intervalos simultáneamente y bisección, todos estos son una muestra representativa de los más sencillos ambientes posibles bajo los cuales surge la conducta temporalmente regulada. El IF y el procedimiento de pico muestran cómo los animales ajustan su conducta ante intervalos únicos de tiempo entre reforzadores, aquéllos con estimación simultánea demuestran que es posible adaptarse a dos distintos intervalos temporales y, finalmente, el proceso de bisección muestra como la conducta puede ser controlada a su vez por la duración de eventos pasados.

Otra investigación de Machado y Cevik (1998), re examinó los procesos de adquisición y extinción durante procedimientos de reforzamiento periódico (es decir, un IF). Entrenaron a sujetos divididos en dos grupos bajo un IF de 40 u 80s en una primera fase. En la segunda fase, cada sesión iniciaba con el IF pero cambiaba a

extinción de manera impredecible. Observaron que el patrón de respuesta de los pichones, era de una tasa muy alta en los primeros momentos de los primeros ensayos que iba decreciendo conforme transcurría el intervalo (un patrón escalar invertido). Conforme transcurrieron las sesiones de entrenamiento se obtuvo el patrón escalar típicamente observado. En la segunda fase donde eran introducidos los periodos de extinción, el patrón de conducta mostró un interesante patrón oscilante, los pichones picoteaban y se detenían, y así sucesivamente (un patrón run-break-run). Las oscilaciones empezaban progresivamente y de manera temprana después del último ensayo con reforzador y la duración de las pausas incrementaba.

Las oscilaciones ocurrieron en ausencia de cualquier cambio del estímulo externo, estaban relacionados al valor del IF. Así para los sujetos bajo el IF 40s, el periodo de oscilaciones estaba cerca de este valor y para el grupo de IF80s, cerca de éste. Los pichones no solo presentan un patrón de run-break-run durante la extinción, pero además lo hacen de manera cíclica. A diferencia de las oscilaciones encontradas por Kirkpatrick-Steger et al. (1996) quienes las hallaron después de un largo número de ensayos, Machado y Cevik los observaron ya fuera en la primera o las primeras cinco sesiones de la segunda fase de su trabajo.

Argumentaron que sus resultados no podían ser explicados por el modelo SET ya que para dar cuenta de este patrón oscilatorio de "pausa-picoteo", la teoría tendría que avocarse a una reinicialización espontánea del reloj interno o a una serie de eventos que funcionaran de manera similar a la entrega del reforzador. Sin embargo, sus hallazgos pudieron ser explicados por el modelo LeT.

La idea de la estimación temporal sin la utilización de ningún reloj interno, fue también desarrollada por Hopson (2003). El propone un modelo de redes neuronales mediante el cual se pueda realizar la estimación bajo cualquier procedimiento y sin la necesidad de apelar al acumulador-contador.

El modelo de redes neuronales consta de tres capas. La primera, la capa de input o entrada, compuesta por dos nodos; la segunda, la capa oculta, compuesta de diez nodos y, finalmente la capa del output o salida, compuesta de un nodo. Cada nodo contaba con un peso de valor entre cero y uno. El algoritmo de aprendizaje

que propone Hopson (2003 en Meck, 2003) es de propagación retrógrada. El mecanismo es el siguiente: cada nodo de la capa oculta cuenta con un valor, un peso (yendo desde cero a uno). La capa output calcula la cantidad de error que es la diferencia entre la cantidad del reforzador que el modelo recibió y aquello que esperaba recibir, que es representado por el nivel de activación del nodo de output. Asimismo, el nivel de activación de esta capa constituye la probabilidad de respuesta de tal manera que una vez ejecutado el algoritmo de aprendizaje, el valor de activación es crítico puesto que es el marcador temporal de cada estado del modelo. Dependiendo del nivel de activación y los cambios que haya sufrido, será la respuesta o no respuesta del sistema o quizá, el tipo de respuesta y obviamente el tiempo en el que ocurrirá. Esta idea coincide con la propuesta en el modelo de LeT de Machado en el que los niveles de activación de cada estado son los que regulan finalmente la conducta temporal y su aprendizaje. La cantidad de error estimado sirve para ajustar los pesos entre la capa oculta y la de salida. En caso de que el modelo haya sobrestimado la cantidad de reforzador, aquellos nodos que activaron al de salida serían suprimidos y los que la hubieran inhibido, serían activados. Los valores de los nodos en la capa oculta representan la cantidad de error con la que cada uno contribuyó a la sobre o subestimación del tiempo de reforzamiento. Estos valores se utilizan después para realizar el ajuste entre ellos y la capa de entrada. Este procedimiento de comparación y contraste entre los valores actuales y los necesarios para producir el valor correcto de la estimación, constituyen el mencionado algoritmo de aprendizaje temporal que reproduce adecuadamente las ejecuciones bajo los procedimientos de intervalo fijo, pico, estimación de interrupciones e interrupciones invertidas. El modelo pudo reproducir el patrón de comportamiento de todos los fenómenos a excepción de la propiedad escalar. La importancia de un modelo así es dar cuenta de la existencia de un mecanismo general de estimación temporal, que no se esté llevando a cabo en un centro específico del organismo. Además el modelo es ventajoso debido a su sencillez, lo cual pudiera implicar que cualquier organismo con una sencilla red neuronal como la presentada por el modelo pueda tener la capacidad de estimar el tiempo.

La construcción del modelo y su sometimiento a pruebas empíricas daban evidencias importantes acerca de la posibilidad que el mecanismo de estimación temporal fuera sencillo y se encontrara en muchos más organismos de los que se pensaba.

PROPUESTA EXPERIMENTAL

En el marco de la investigación acerca del funcionamiento del reloj interno, los estudios que han utilizado el procedimiento de pico con interrupciones para determinar el modo de operación del reloj se han enfocado al análisis de la primera parte de la función de respuesta, en donde generalmente se realizan las manipulaciones de introducción de la interrupción. Poco o ningún análisis ha sido propuesto que involucre alguna manipulación a ser introducida en la segunda parte de la función de respuesta, posiblemente porque se ha asumido que cualquier evento que ocurra transcurrido el tiempo del reforzamiento no podría tener efectos sobre el modo de operación del reloj. Sin embargo, el patrón gaussiano casi simétrico y su progresiva aparición (Kirkpatrick, et al, 1996) así como la persistencia ante un estímulo discriminativo (la interrupción) que predice de manera precisa la ausencia de reforzamiento en ese ensayo, son indicios de que es necesario considerar otros determinantes de la ejecución en los procedimientos temporales.

Con ese objetivo, en el presente trabajo se probará la manipulación siguiente: se introducirá la interrupción de la señal a estimar en dos localizaciones tardías del intervalo pico, que tendrán la característica de estar asociadas a la misma tasa de respuesta promedio alcanzada en ensayos pico en los que la interrupción se introduce muy cerca del inicio del ensayo o muy cerca del momento en el que suele presentarse el reforzador en los ensayos reforzados o IF y que, generalmente, producen un desplazamiento de las curvas de respuesta, acordes con detención y re-inicio, respectivamente. Esta manipulación permitirá determinar si el desplazamiento de la curva de respuesta en los ensayos pico es producto, principalmente, de la expectativa de la entrega del reforzador, del nivel de la tasa de respuesta vigente al momento de introducir el reforzador o si es posible suponer que resulta del efecto combinado de ambos.

Se pondrá a prueba la afirmación de Cabeza de Vaca et. al (1994) de que la localización de la interrupción determina la regla que utiliza el organismo para responder. En el Experimento 1, Cabeza de Vaca et al. (1994) utilizaron una interrupción a los 6s (temprana) y otra a los 15s (tardía) y obtuvieron resultados que apoyan la idea que localizaciones tardías producen desplazamientos que se aproximaban más a la regla de

reinicialización y los desplazamientos producidos por la interrupción temprana se asemejaron más a los predichos por la regla de detención-retención. Si pensamos en una manipulación de las interrupciones que sea semejante pero que sea una especie de “espejo”, entonces las interrupciones estarían localizadas a los 54s (equivalente, en términos de cercanía al tiempo reforzado y ,por ende, a la tasa de respuesta vigente al momento de introducir la interrupción, a la interrupción temprana del estudio de Cabeza de Vaca) o a los 45s (equivalente a su interrupción tardía). Considerando un continuo, contado desde el inicio del intervalo, ambas interrupciones se consideran tardías ya que ocurren después del tiempo de reforzamiento, por lo cual podrían producir desplazamientos en el tiempo pico que se aproximen más a la regla de reinicialización que a la de detención-retención. Pero, si la localización no fuera el único factor determinante, los cambios en el tiempo pico podrían semejarse a los que se observan cuando la interrupción se introduce durante la primera mitad del intervalo pico, esto es, detención-retención o re-inicio, respectivamente.

Además, se puede deducir que la hipótesis del reloj interno derivada de SET prediría que una vez transcurrido el momento esperado de reforzamiento la interrupción de la señal no debería producir ningún desplazamiento de la curva de respuesta, ya que, el umbral para cesar de responder a una tasa alta habría sido rebasado anteriormente en el ensayo, y, en ausencia de una expectativa de reforzamiento, el animal no tendría porque seguir respondiendo. Por otra parte, recordando lo expuesto respecto a la teoría de LeT, los estados conductuales presentes en los segundos 6 y 15 serían equivalentes (en términos de su nivel asociativo con la operante) a aquéllos presentes a los segundos 45 y 54, por lo cual, las interrupciones introducidas en estos momentos del intervalo podían producir cambios en la tasa de respuesta los cuales pudieran manifestarse en a) la aparición de un segundo pico, con b) un desplazamiento del tiempo pico de esta segunda curva, de magnitud semejante a la observada para el caso de las interrupciones tempranas a los 6s y 15 s, como en el experimento de Cabeza de Vaca. Todo esto ocurriría si la tasa de respuesta promedio vigente al momento de introducir la interrupción fuera la única determinante de los desplazamientos de la curva de respuesta en los ensayos pico.

Así, el presente experimento se propone poner a prueba la hipótesis del decaimiento del recuerdo y la influencia de la tasa de respuesta vigente al momento de introducir la interrupción sobre los modos de

operación del reloj interno: detención y reinicio. Se asume que la manipulación propuesta permitirá identificar los determinantes del modo de operación del reloj y su naturaleza.

PROPUESTA EXPERIMENTAL

En el marco de la investigación acerca del funcionamiento del reloj interno, los estudios que han utilizado el procedimiento de pico con interrupciones para determinar el modo de operación del reloj se han enfocado al análisis de la primera parte de la función de respuesta, en donde generalmente se realizan las manipulaciones de introducción de la interrupción. Poco o ningún análisis ha sido propuesto que involucre alguna manipulación a ser introducida en la segunda parte de la función de respuesta, posiblemente porque se ha asumido que cualquier evento que ocurra transcurrido el tiempo del reforzamiento no podría tener efectos sobre el modo de operación del reloj. Sin embargo, el patrón gaussiano casi simétrico y su progresiva aparición (Kirkpatrick, et al, 1996) así como la persistencia ante un estímulo discriminativo (la interrupción) que predice de manera precisa la ausencia de reforzamiento en ese ensayo, son indicios de que es necesario considerar otros determinantes de la ejecución en los procedimientos temporales.

Con ese objetivo, en el presente trabajo se probará la manipulación siguiente: se introducirá la interrupción de la señal a estimar en dos localizaciones tardías del intervalo pico, que tendrán la característica de estar asociadas a la misma tasa de respuesta promedio alcanzada en ensayos pico en los que la interrupción se introduce muy cerca del inicio del ensayo o muy cerca del momento en el que suele presentarse el reforzador en los ensayos reforzados o IF y que, generalmente, producen un desplazamiento de las curvas de respuesta, acordes con detención y re-inicio, respectivamente. Esta manipulación permitirá determinar si el desplazamiento de la curva de respuesta en los ensayos pico es producto, principalmente, de la expectativa de la entrega del reforzador, del nivel de la tasa de respuesta vigente al momento de introducir el reforzador o si es posible suponer que resulta del efecto combinado de ambos.

Se pondrá a prueba la afirmación de Cabeza de Vaca et. al (1994) de que la localización de la interrupción determina la regla que utiliza el organismo para responder. En el Experimento 1, Cabeza de Vaca et al. (1994) utilizaron una interrupción a los 6s (temprana) y otra a los 15s (tardía) y obtuvieron resultados que apoyan la

idea que localizaciones tardías producen desplazamientos que se aproximaban más a la regla de reinicialización y los desplazamientos producidos por la interrupción temprana se asemejaron más a los predichos por la regla de detención-retención. Si pensamos en una manipulación de las interrupciones que sea semejante pero que sea una especie de “espejo”, entonces las interrupciones estarían localizadas a los 54s (equivalente, en términos de cercanía al tiempo reforzado y ,por ende, a la tasa de respuesta vigente al momento de introducir la interrupción, a la interrupción temprana del estudio de Cabeza de Vaca) o a los 45s (equivalente a su interrupción tardía). Considerando un continuo, contado desde el inicio del intervalo, ambas interrupciones se consideran tardías ya que ocurren después del tiempo de reforzamiento, por lo cual podrían producir desplazamientos en el tiempo pico que se aproximen más a la regla de reinicialización que a la de detención-retención. Pero, si la localización no fuera el único factor determinante, los cambios en el tiempo pico podrían semejarse a los que se observan cuando la interrupción se introduce durante la primera mitad del intervalo pico, esto es, detención-retención o re-inicio, respectivamente.

Además, se puede deducir que la hipótesis del reloj interno derivada de SET prediría que una vez transcurrido el momento esperado de reforzamiento la interrupción de la señal no debería producir ningún desplazamiento de la curva de respuesta, ya que, el umbral para cesar de responder a una tasa alta habría sido rebasado anteriormente en el ensayo, y, en ausencia de una expectativa de reforzamiento, el animal no tendría porque seguir respondiendo. Por otra parte, recordando lo expuesto respecto a la teoría de LeT, los estados conductuales presentes en los segundos 6 y 15 serían equivalentes (en términos de su nivel asociativo con la operante) a aquéllos presentes a los segundos 45 y 54, por lo cual, las interrupciones introducidas en estos momentos del intervalo podían producir cambios en la tasa de respuesta los cuales pudieran manifestarse en a) la aparición de un segundo pico, con b) un desplazamiento del tiempo pico de esta segunda curva, de magnitud semejante a la observada para el caso de las interrupciones tempranas a los 6s y 15 s, como en el experimento de Cabeza de Vaca. Todo esto ocurriría si la tasa de respuesta promedio vigente al momento de introducir la interrupción fuera la única determinante de los desplazamientos de la curva de respuesta en los ensayos pico.

Así, el presente experimento se propone poner a prueba la hipótesis del decaimiento del recuerdo y la influencia de la tasa de respuesta vigente al momento de introducir la interrupción sobre los modos de operación del reloj interno: detención y reinicio. Se asume que la manipulación propuesta permitirá identificar los determinantes del modo de operación del reloj y su naturaleza.

Método

Sujetos

Cinco ratas Wistar macho albinas, sin historia experimental, de dos meses y diecinueve días de edad al inicio del experimento, provenientes del bioterio de la Facultad de Psicología de la UNAM. Estuvieron alojadas en cajas individuales y con un ciclo de luz oscuridad de 12x12 hrs., con libre acceso al agua y mantenidas al 80% de su peso bajo ingesta libre. Las sesiones experimentales se llevaron a cabo siete días por semana, durante la mañana.

Aparatos

Cinco cajas de condicionamiento operante, de dimensiones 34 cm de altura x 32 cm de largo x 26.5 cm de ancho, marca MED-Associates. La pared frontal de cada caja estaba provista de una palanca retráctil en la parte izquierda, una luz señalizadora y un orificio del dispensador de pellets, colocado en la parte central de la pared y situado a 2.5 cm de la rejilla sobre la que se posaba el animal. Además de la luz ubicada sobre la palanca, se colocó otra luz sobre el orificio del dispensador de pellets. Otra luz colocada en la pared trasera de la caja, proporcionó la iluminación general. El reforzador consistió en un pellet marca Noyes de 45 mg. Las cajas se mantuvieron aisladas de luz y ruido. Una computadora personal provista de una interfase MED, controló los eventos y registró los tiempos de ocurrencia de las respuestas con una aproximación a la centésima de segundo.

Procedimiento

Preentrenamiento. Las ratas fueron moldeadas manualmente a responder a palanca durante dos sesiones, en días consecutivos. Cada rata fue moldeada en la caja en que corrió todo el experimento.

A fin de asegurar tasas de respuesta que mantuvieran la respuesta al introducir las sesiones con ensayos no reforzados, se procedió a someter a las ratas a dos sesiones de un programa de Intervalo Aleatorio (RI) de valor 15-seg., seguidos por cuatro sesiones de RI valor 30-seg. El número de reforzadores por sesión fue de 50.

Procedimiento de Pico

Una vez establecida una tasa de respuestas alta a través del entrenamiento en RI, las ratas fueron sometidas a una mezcla de 45 ensayos discretos de un programa de Intervalo Fijo de valor 30s (IF 30) y 15 ensayos discretos no reforzados o ensayos pico, con duración promedio de 130s (resultado de una duración base de 100s más un tiempo aleatorio con promedio de 30s).

Para el cálculo de los valores de los ensayos pico se utilizó la fórmula de Flesher y Hoffman (1962) con $N = 15$ y $media = 30s$. Todos los ensayos iniciaban con el encendido de la luz general y la luz colocada encima de la palanca. En el caso de los ensayos de IF, al momento de cumplirse el requisito de tiempo transcurrido y respuesta emitida, estos estímulos se apagaban, se activaba el dispensador de pellets y se encendía la luz señalizadora de la entrega del reforzador. Los ensayos estuvieron separados por un Intervalo entre Ensayos (IEE) de valor promedio de 50s, período durante el cual la caja permanecía a oscuras. Para calcular los valores de IEE se utilizó la fórmula de Flesher y Hoffman (1962), con $N = 60$ y $media = 45s$. A cada uno de los 60 intervalos así generados se le agregaron 5 segundos. Las sesiones siempre iniciaron con cinco ensayos de IF reforzados, que no fueron analizados. El orden de presentación de los sesenta ensayos restantes, IF o Pico, fue aleatorio. Esta condición se mantuvo vigente por 60 sesiones.

Pico con Interrupciones

En esta fase, las sesiones consistieron en la presentación de interrupciones de 9s en la señal en una proporción del 80% de los ensayos pico. Las interrupciones se presentaron en dos localizaciones distintas ya fuera a los 45 o a los 54 segundos de iniciado el ensayo pico. La presentación de los distintos tipos de ensayos se organizó en tres bloques de 20 ensayos cada uno, de los cuales 15 fueron ensayos IF reforzados, 1 fue ensayo Pico, más dos con interrupción a los 45s y dos con interrupción a los 54s, presentados en un orden aleatorio. Al igual que en la fase de procedimiento de pico, las sesiones con interrupciones iniciaron siempre con cinco ensayos IF reforzados, que no fueron analizados. Esta fase estuvo vigente por 12 sesiones.

Resultados

Se analizaron los datos correspondientes a las 12 sesiones de la condición de Pico con Interrupción (un total de 36 ensayos de Pico y 72 ensayos de Pico con interrupción, de cada tipo). La observación visual de las curvas de respuesta indicó que no se obtuvieron desplazamientos en las mismas, en los ensayos que incluyeron las interrupciones de la señal, por lo que para calcular los tiempos pico, se tomó el intervalo de 0 a 90 segundos, tanto en los ensayos de “Pico” como en los ensayos de “Pico con Interrupción”. Las respuestas emitidas se ordenaron en intervalos de 1 segundo, hasta completar los 90 segundos fijados. Estos datos se utilizaron para estimar el tiempo pico, la tasa pico de respuesta y la precisión de la estimación para cada rata. El número de respuestas en los intervalos de un segundo se promedió, diariamente, y para cada tipo de ensayo, a fin de obtener la tasa de respuesta promedio para cada sujeto. Con estos datos, se ajustó el siguiente modelo gaussiano de cinco parámetros:

$$R(t) = y_0 + a * \exp \left[-0.5 \left(\frac{|t-t_0|}{b} \right)^c \right]$$

Donde t es el momento actual (en bins de 1 seg.) y R(t) es el número de respuestas promedio en el intervalo t. Un algoritmo iterativo proporciona los parámetros a, b, c, Y₀ y t₀. El parámetro t₀ es el estimado del tiempo pico, a + Y₀ proporcionan el estimado de la tasa de respuesta pico y b el estimado de la precisión de la estimación temporal. Con los datos de tiempo pico, sujeto por sujeto, así obtenidos, se procedió a efectuar los análisis que enseguida se describen. El alfa establecido para las pruebas estadísticas fue de 0.05.

Para determinar si las distintas interrupciones provocaron cambios en los tiempos pico, se realizó un análisis con los datos diarios de cada sujeto tomando los doce días de la fase de prueba. Se corrió un ANOVA de medidas repetidas en el que se tomaron los doce valores de tiempo pico como dato, con Tipo de Ensayo (Pico, Interrupción a los 45s e Interrupción a los 54s) y Sesión, como factores “within”. No existieron diferencias estadísticamente significativas en el factor Tipo de Ensayo (F[2,8] = 1.23, p>0.05); ni Sesión (F[11,44] = 1.14 p>0.05). Tampoco la interacción entre el factor Tipo de Ensayo y el factor Sesión (F[22,88] = 1.08, p>0.05) resultó

estadísticamente significativa. Enseguida se analizó si la localización de la interrupción afectó otro indicador de la estimación: la precisión, como es medida por la desviación estándar de las curvas de respuesta en ensayos pico. Por ello, se realizó un análisis con los datos diarios de las desviaciones estándar de cada sujeto. Una prueba ANOVA de medidas repetidas en el que se tomaron los doce valores como dato, con Tipo de Ensayo (Pico, Interrupción 45s e Interrupción 54s) y Sesión como factores “within”, indicó que no existieron diferencias estadísticamente significativas entre las sesiones diarias con Tipo de Ensayo como factor ($F_{[2,8]} = 0.31$, $p > 0.05$); ni sesión ($F_{[11,44]} = 1.34$ $p > 0.05$); por último la interacción entre los Factores Tipo de Ensayo y Desviación Estándar de la distribución Gaussiana no fue estadísticamente significativa ($F_{[22, 88]} = 1.44$, $p > 0.05$).

Los tiempo pico promedio y la desviación estándar para los ensayos pico (sin interrupción), con interrupción temprana (a los 45s) y con interrupción tardía (a los 54s), fueron 35.03 ± 5.17 , 33.75 ± 3.97 y 34.13 ± 4.25 , respectivamente.

De igual forma, para determinar si las interrupciones provocaron cambios en las tasas de respuesta, se realizó un ANOVA de medidas repetidas en el que se tomaron los doce valores de tasa pico, de cada sujeto como dato, con Tipo de Ensayo (Pico, Interrupción a los 45s e Interrupción a los 54s) y Sesión como factores “within”, el cual indicó que no existieron diferencias estadísticamente significativas en el factor Tipo de Ensayo ($F_{[2, 8]} = 0.05$, $p > 0.05$); ni Sesión ($F_{[11, 44]} = 1.62$ $p > 0.05$). Tampoco se hallaron interacciones que fueran estadísticamente significativas entre el factor Tipo de Ensayo y el factor Sesión ($F_{[22, 88]} = 0.93$, $p > 0.05$).

Dado que el patrón de respuesta de sujeto a sujeto difirió considerablemente (en particular, sujetos 1, 2 y 5), en lo subsecuente se presentarán y analizarán los datos individuales.

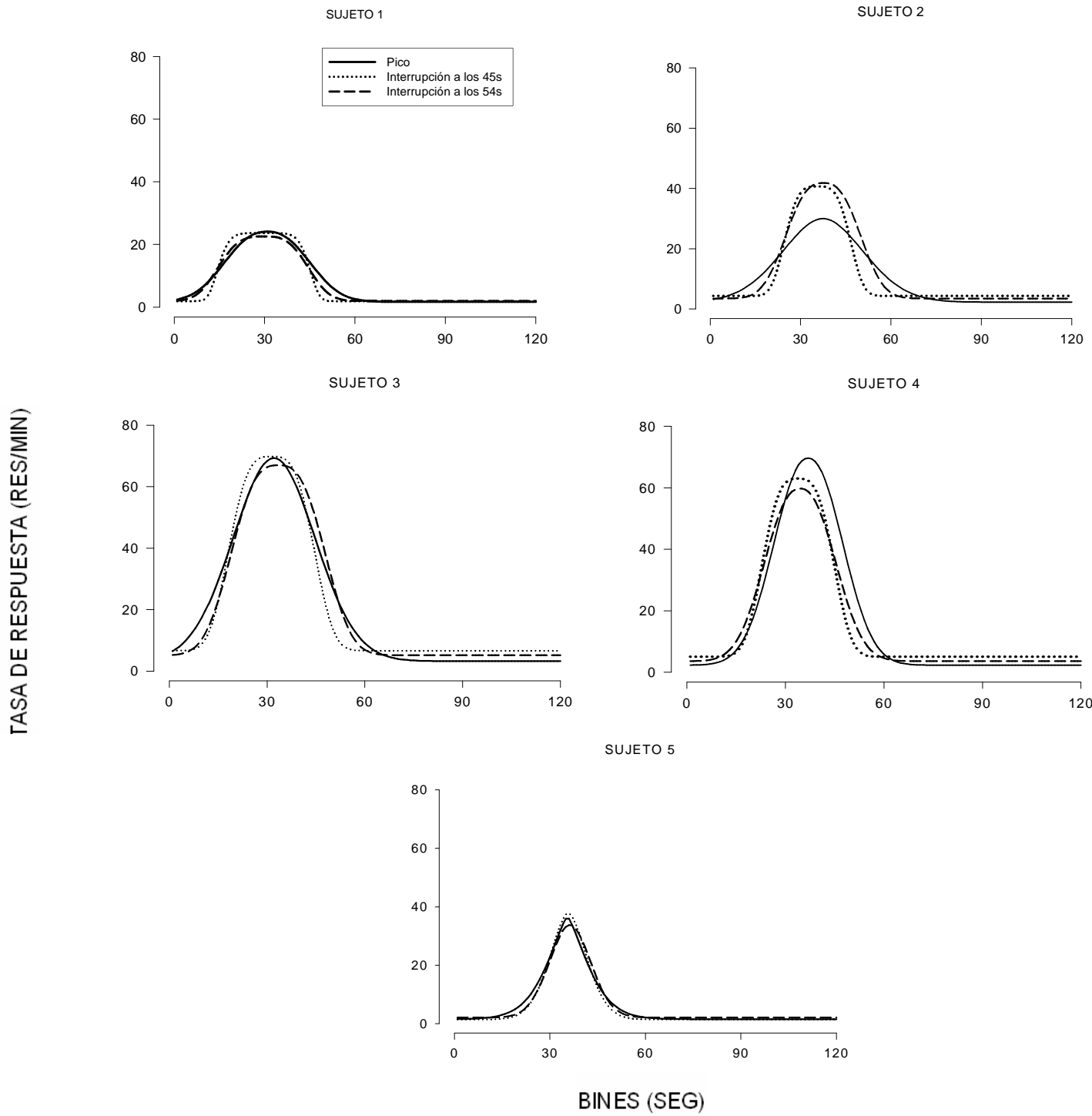


Figura 4. Ajuste a las curvas de tasa de respuesta, en los tres tipos de ensayo. Cada gráfica corresponde a un solo sujeto y representa el promedio de las doce sesiones.

En la Figura 4, se presentan las curvas de tasa de respuesta promedio ajustadas obtenidas para los ensayos de pico, ensayos con interrupción a los 45s y a los 54s, correspondientes a las doce sesiones analizadas, para cada sujeto. Como se puede observar en dicha figura, la introducción de las interrupciones tardías no produjo la aparición de segundos picos, por lo que no se observó un desplazamiento de los respectivos tiempos pico en cada tipo de ensayo, en ninguno de los cinco sujetos aquí analizados. No obstante, es posible observar algunos cambios en el patrón de respuesta: para el tipo de ensayo pico con interrupción a los 45s, los sujetos presentaron menor variabilidad, además que la función parecía aplanarse en su punto más elevado (con excepción del sujeto 5). Para los ensayos de pico con interrupción a los 54s, se observa una mayor variabilidad que para aquéllos con interrupción a los 45s, pero nunca mayor a la de los ensayos pico (sin interrupción). Se observa claramente el aplanamiento en la tasa en los ensayos de pico con interrupción a los 45s y como la curva correspondiente a los ensayos sin interrupción es más suave y más aproximada a la forma Gaussiana.

Tabla 1. Se presenta el tiempo pico y la desviación estándar (entre paréntesis), para cada uno de los sujetos en los tres tipos de ensayo: pico, con interrupción a los 45s y con interrupción a los 54s.

Sujeto	Tiempo Pico	Tiempo Pico Bk45	Tiempo Pico Bk54
1	31.73 (11.6)	29.74 (12.77)	29.26 (14.17)
2	37.76 (13.45)	37.61 (10.54)	37.76 (13.04)
3	31.81 (12.59)	31.18 (12.16)	33.05 (13.46)
4	38.42 (9.99)	33.74 (9.28)	34.62 (9.97)
5	39.01 (5.85)	36.51 (15.8)	35.97 (5.64)

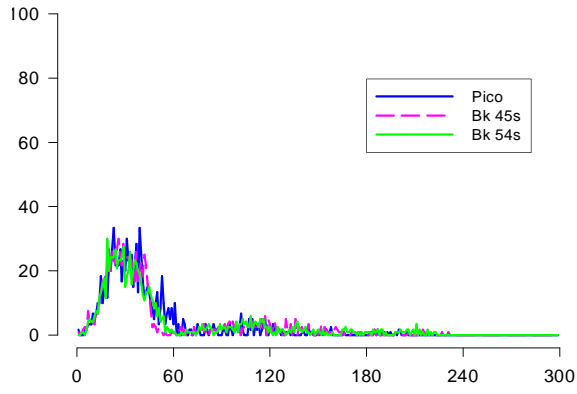
Tabla 2. Se presenta la tasa pico y la desviación estándar (entre paréntesis), para cada uno de los sujetos en los tres tipos de ensayo: pico, con interrupción a los 45s y con interrupción a los 54s.

Sujeto	Tasa Pico	Tasa Pico Bk45	Tasa Pico Bk54
1	31.69 (7.62)	50.63 (10.26)	48.54 (16.08)
2	37.93 (21.06)	45.08 (12.53)	39.6 (10.33)
3	75.73 (20.08)	71.41 (11.04)	71.32 (18.51)
4	74.74 (30.35)	66.92 (9.98)	65.38 (16.63)
5	46.78 (19.71)	37.71 (13.78)	40.34 (12.68)

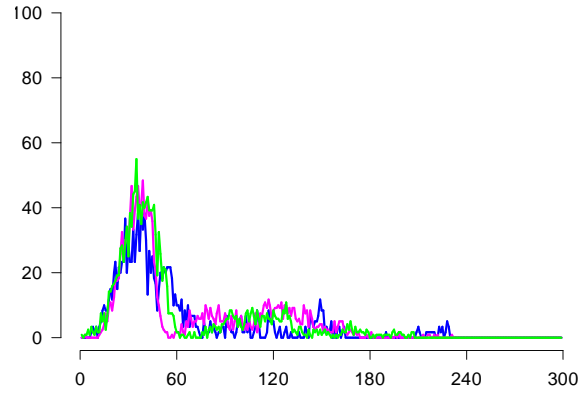
A continuación se presenta la gráfica de la curva de respuesta obtenida, para todos los sujetos. Dicha gráfica contiene la función de respuesta para cada una de las condiciones (Ensayos Pico, con Interrupción a los 45s y con Interrupción a los 54s). Se presentan los datos crudos que forman las curvas de ejecución de cada sujeto, donde se observan los efectos diferenciales resultado de la introducción de la interrupción de 9s, en distintas localizaciones.

TASA DE RESPUESTA (RES/MIN)

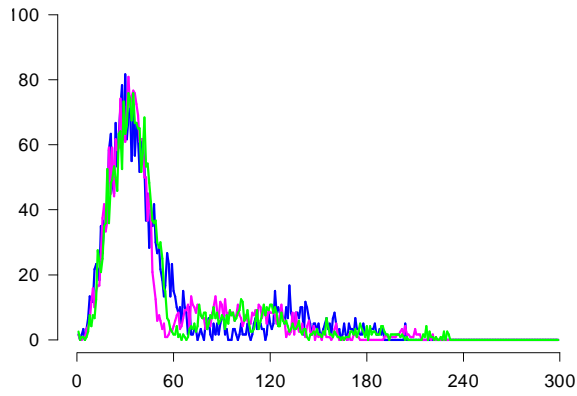
SUJETO 1



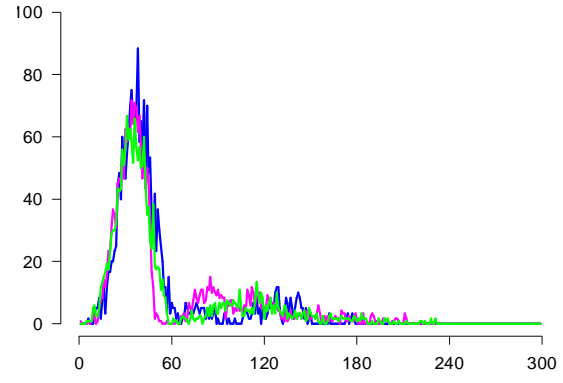
SUJETO 2



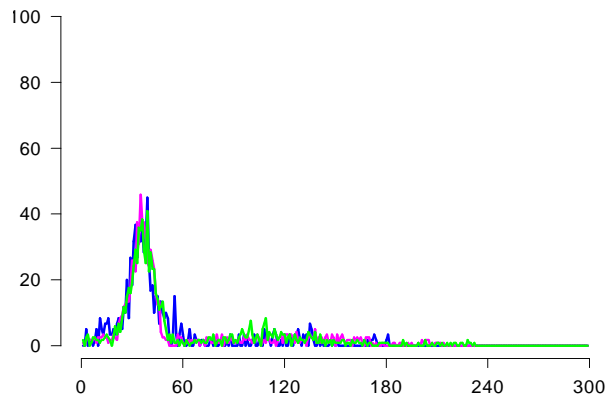
SUJETO 3



SUJETO 4



SUJETO 5



BINES (SEG)

Figura 5. La función de respuesta obtenida para cada una de las condiciones (Ensayos Pico, con Interrupción a los 45s y con Interrupción a los 54s), de los cinco sujetos del estudio.

En la Figura 5, se presenta el gradiente de respuesta obtenido para cada uno de los cinco sujetos en las doce últimas sesiones de la fase del procedimiento de pico con interrupciones. De manera general, para la condición Pico, se observa un gradiente de respuesta más amplio, lo que indica mayor variabilidad en la tasa de respuesta. Para la condición de Interrupción a los 45s, se observa la caída en la tasa de respuesta después de la introducción de dicha interrupción. Lo mismo puede decirse acerca del gradiente para la condición de Interrupción a los 54s. Sin embargo, en ambos casos, también se observa una recuperación en la tasa de respuesta, posterior a la finalización de la interrupción, acompañada de una especie de pequeño pico o levantamiento que ocurre más adelante en el intervalo. Estos levantamientos o picos presentan entre sí un desplazamiento con respecto a la condición sin interrupciones que es comparable, cualitativamente, a la observada cuando la interrupción ocurre durante la primera mitad del intervalo pico.

Es importante resaltar como las distintas localizaciones de las interrupciones provocan que la respuesta caiga de manera diferencial: más pronunciada con la interrupción a los 45s (sujetos 1 y 3) y menos pronunciada con la interrupción a los 54s. Adicionalmente a este efecto, es posible observar una recuperación (posiblemente el segundo pico que se esperaba) de la tasa de respuesta, en los ensayos pico con y sin interrupción. En particular, para la condición Pico, el segundo levantamiento del gradiente de respuesta ocurre antes que aquel que aparece cuando se introducen las interrupciones, indicando que sí existió un desplazamiento de esta segunda curva producto de la interrupción tardía de la señal, pero que es apenas notable porque la tasa de respuesta en ese momento es muy baja.

Discusión

Con la manipulación efectuada en este estudio se intentaba determinar si la introducción de interrupciones después del tiempo de reforzamiento produciría cambios en la tasa de respuesta que provocaran un desplazamiento del tiempo pico, equivalente al observado cuando la interrupción de la señal se introduce durante la parte inicial, y previa al momento en que se había estado entregando el reforzador. Este razonamiento derivó de la observación de que la introducción de interrupciones durante cualquier momento de la estimación de un intervalo pico, produce decrementos en la tasa de respuesta que se relacionan linealmente con el valor que ésta tiene al momento de ocurrir la interrupción (Meck y Church, 1984), por una parte, y, por la otra, del análisis de los modelos LeT (Machado, 1997) y de aprendizaje generalizado (Hopson, 1999, 2002) que afirman que la estimación temporal puede ser explicada en términos de asociaciones aprendidas, que determinan la tasa de respuesta. Estos modelos proporcionan un indicio acerca del mecanismo que puede subyacer a los desplazamientos de las funciones de respuesta en los ensayos pico. Se razonó que si los desplazamientos de las funciones de respuesta se deben a los efectos que tienen las interrupciones sobre la tasa de respuesta, entonces estos cambios se podrían explicar en términos de debilitamiento de las asociaciones aprendidas en vez de apelar a la puesta en marcha de los modos de operación de un reloj interno. Esta explicación es parecida a la formulada por Cabeza de Vaca et al., pero difiere, de manera importante, en el hecho de que las asociaciones postuladas se establecen entre los estados conductuales y la conducta operante, es decir, es una explicación conductual.

Desarrollando más este razonamiento tenemos que en los ensayos pico se observa una función de respuesta casi simétrica. Si asumimos que tasas de respuesta semejantes reflejan fuerzas asociativas semejantes, entonces el efecto de la interrupción (disminución de la tasa) introducida cuando la tasa es similar, debe ser el mismo, independientemente de la localización temprana o tardía de la interrupción. El efecto se explicaría apelando al segundo proceso básico en el aprendizaje temporal, denominado "asociaciones aprendidas". En este proceso, Machado (1997) argumenta que cada estado conductual está asociado en cierto grado a la respuesta operante y que la asociación se ve directamente afectada por su proximidad con el reforzador, incrementando al momento en que el reforzador está cercano y disminuyendo cuando no lo está. La medida en

que la asociación varía para cada estado, depende del grado de activación en el que se encuentre dicho estado en determinado punto del tiempo. Con estas ideas presentes y si recordamos lo expuesto respecto al procedimiento del experimento de Cabeza de Vaca et. al (1994) en el que dos interrupciones fueron introducidas, una a los 6s (temprana) y otra a los 15s (tardía), en este trabajo se pretendía hacer una manipulación con interrupciones de la misma duración que las de Cabeza de Vaca et. al, pero presentadas en puntos más avanzados del ensayo. Se buscó que las interrupciones ocurrieran en un momento en que la tasa de respuesta del animal fuera igual que aquella vigente al introducir las interrupciones tempranas (valores concéntricos). Entonces, el valor de la tasa de respuesta al segundo 6 del intervalo sería igual a aquella a los 54s y la presentada a los 15s del intervalo, igual a la del segundo 45, pues cada par de estados tendría el mismo nivel de activación. De ahí que se esperara que las interrupciones en esos valores concéntricos del intervalo desplazaran en la misma magnitud al tiempo pico. De acuerdo con LeT, si el estado conductual está poco asociado con la entrega del reforzador (interrupción a los 6s o a los 54s), entonces el cambio en su grado de activación será poco ya que el estado estaría “débilmente activado”, lo que se reflejaría en una disminución pequeña de la tasa de respuesta y un desplazamiento también menor. Por el contrario, si el estado está muy asociado (interrupción a los 15s o a los 45s), el cambio en la activación será grande, la disminución de la tasa de respuesta mayor y el desplazamiento de la curva también mayor.

Los resultados indicaron que la introducción de la interrupción en localizaciones tardías del intervalo pico no produjo la aparición de segundos picos ni los desplazamientos esperados en esas funciones de respuesta, lo que impidió efectuar la evaluación inicialmente propuesta de la hipótesis de localización. Una explicación para este resultado debe tener en cuenta, como lo señalan Staddon y Higa (1999), la función del reforzador en una preparación como la aquí utilizada (procedimiento de pico con interrupciones). Como se describió anteriormente, en el procedimiento de pico con interrupciones estándar, las interrupciones suelen ser introducidas antes del tiempo de entrega del reforzador. Cuando las interrupciones ocurren durante la primera mitad del intervalo, consistentemente se obtienen los desplazamientos de la función de respuesta hacia la derecha, es decir, el tiempo pico se desplaza hacia valores mayores. El hallazgo de que las interrupciones muy tardías no produjeron el desplazamiento de la curva de respuesta, y, por consiguiente, tampoco el

desplazamiento del tiempo pico, nos confirma que el reforzador juega un papel determinante en el proceso de la estimación temporal. De acuerdo con SET (Gibbon, 1977), el reforzador podría ser el marcador temporal más relevante en este arreglo experimental, con la expectativa de su aparición sosteniendo la fuerza y probabilidad de la respuesta, razón por la cual la introducción de interrupciones una vez transcurrido el momento en el que se espera su entrega, no tendría por qué provocar la aparición de un segundo pico ni el desplazamiento de la curva, tal y como ocurrió en este trabajo.

Por lo que toca a efectos de la interrupción sobre la tasa de respuesta pico y el tiempo pico y recordando los hallazgos de Roberts (1981) cuando describe la existencia de la ruta de estímulo respuesta que esta dividida en sistema de estimación temporal y sistema de respuesta, se puede afirmar que ninguno de ellos se vio afectado por la presente manipulación ya que, de acuerdo con los análisis estadísticos efectuados, ni la tasa de respuesta ni el tiempo pico de la función de respuesta principal, presentaron diferencias significativas.

Otra característica de los datos de este estudio es la que se refiere a la elevación de la tasa de respuesta después de finalizada la interrupción. Como se pudo observar en la Figura 5, antes de la ocurrencia de la interrupción existe una tasa de respuesta que es inferior a la tasa pico, pero distinguiblemente diferente de cero. Al producirse la interrupción de la señal a estimar, la tasa cae pero se recupera unos segundos después dando lugar a un segundo levantamiento del gradiente de respuesta. Esta recuperación se acerca a lo que podría considerarse un segundo pico, aunque de mucha menor altura que el pico inicial. Este pequeño elevamiento de la respuesta se desplaza dependiendo de la localización de la interrupción: el cambio en el tiempo pico es mayor y la curva de respuesta reaparece primero cuando la interrupción se introdujo a los 45s que cuando se introdujo a los 54s, de forma semejante a lo que ocurre cuando la interrupción se introduce antes del momento esperado de la llegada del reforzador. Pero, si ya transcurrió el momento de la entrega del reforzador, ¿por qué habría de recuperarse la respuesta? Hasta el momento, se desconocen las causas de que aparezca este tipo de patrón conductual cíclico. Una posible explicación la proporciona la teoría de los osciladores múltiples, propuesta por Kirkpatrick-Steger et al. (1996). Es decir, un conjunto de osciladores internos que provocan las periodicidades en la función de respuesta. Podemos considerar que los resultados

del presente trabajo muestran algo similar, aunque de manera mucho menos pronunciada que la reportada en el estudio de Kirkpatrick et al.

Otra interpretación es la que propone LeT y estaría fundamentada en sus componentes de fuerza asociativa y grado de activación de los estados conductuales: el levantamiento en el gradiente de respuesta se puede deber a que en el momento en que ocurre la interrupción, el estado conductual tiene un cierto grado de activación, que disminuye con la interrupción y al finalizar ésta, es posible que ocurra una especie de recuperación de ese nivel de activación, lo cual provocaría el levantamiento observado en los patrones de ejecución.

Podemos concluir, además, que al igual que en el caso de las interrupciones tempranas, en este experimento el animal no pudo discriminar los ensayos reforzados de los no reforzados. Este punto resulta interesante porque hasta el momento no existe una explicación del por qué no se observa la extinción de la respuesta en los ensayos con interrupción introducida en la primera mitad del intervalo (esto es, cuando el animal aún pudiera tener la expectativa de que el reforzador podría llegar). Durante los ensayos con interrupción, el animal experimenta consistentemente la situación de que una interrupción de la señal indica con total certidumbre que no habrá reforzador durante ese ensayo, entonces ¿por qué no deja de responder? En el caso de la preparación que aquí se probó, la interrupción sería una señal redundante de la ausencia de reforzamiento en el ensayo, dado que el tiempo esperado para la entrega del reforzador ya pasó, por lo que la respuesta durante la mayor parte del intervalo pico no tendría porque modificarse (como se observó en este experimento), sin embargo llama la atención el hecho de que la interrupción tardía provoque una disminución de la tasa de respuesta, seguida de una recuperación, en vez de una extinción de la respuesta. Esto último es un resultado que las teorías actuales de estimación temporal deberían explicar.

Adicionalmente, (Aum, Brown y Hemmes, 2006), han encontrado efectos semejantes a los aquí propuestos en estudios con el procedimiento de pico y eventos intrusivos concurrentes. Estos autores atribuyen los desplazamientos en el tiempo pico a procesos de atención, sin embargo, su evidencia puede ser interpretada

en términos de efectos del reforzador, pues la historia de reforzamiento de un evento intrusivo provocó mayores desplazamientos en el tiempo pico –mayores que los obtenidos incluso por una interrupción-. Un evento intrusivo difiere de una interrupción en cuanto a que el primero es la introducción de otra señal dentro del transcurso de la señal a ser estimada (como el procedimiento de gap invertido), y el segundo es sencillamente la discontinuación de la señal estimada. De hecho, los desplazamientos que obtuvieron para el evento intrusivo que estaba asociado al reforzador fueron más grandes que los predichos por la regla de reinicialización, a lo que llaman “sobre reinicialización”. La localización de las interrupciones que manejaron tuvo efectos parecidos a los de Cabeza de Vaca et al. (1994). Ellos usaron un valor de IF de 30s e introdujeron sus interrupciones a los 3, 9 y 15s y la localización más tardía provocó los desplazamientos más grandes. La tasa de respuesta disminuyó proporcionalmente, tal como se predijo que ocurriría, aunque de manera más clara ya que ellos introdujeron las interrupciones durante la primera mitad del intervalo pico. Esto sugiere que es posible que obtengamos los cambios predichos en la tasa de respuesta si programáramos varias interrupciones en un mismo intervalo pico, localizadas a todo lo largo del mismo, a ambos lados de la curva y en valores concéntricos.

En resumen, los resultados obtenidos en este trabajo parecen sugerir que la operación del reloj no depende exclusivamente de la tasa de respuesta (o sus determinantes) como se formuló al principio, sino que las condiciones estímulo presentes en la tarea y algún tipo de proceso oscilatorio que las teorías actuales de estimación temporal aún no pueden describir, juegan un papel importante en la ejecución bajo el procedimiento de pico con interrupciones. Además, quedan por resolver las preguntas relativas a la aparición de patrones cíclicos, la explicación de la causa de los decrementos en la tasa de respuesta proporcionales a la localización de la interrupción y la manera en que estas variables están interactuando para producir los cambios que tradicionalmente se habían atribuido a la operación de un reloj interno con propiedades cronométricas comunes. Es necesario el desarrollo o adaptación de modelos existentes, que incorporan estos aspectos, para poder alcanzar una explicación de este fenómeno.

ANEXO

Dentro del campo de la psico-biología también se han estudiado los fenómenos de estimación temporal. Generalmente, se ha hecho la distinción entre la estimación temporal de periodos largos de tiempo y de intervalos de corta duración. El primer tipo, los ritmos circadianos, está mediado por ciertas estructuras como el núcleo supraquiasmático. Como ya se ha mencionado, se piensa que los intervalos cortos están estimados por una especie de reloj interno o contador de pulsos. Ejemplos de varias investigaciones han tratado con los efectos de los fármacos en la estimación temporal. En ratas, las diferencias observadas del tiempo de reforzamiento se ha demostrado que son proporcionales al tiempo programado de reforzamiento y pueden estar relacionadas con modificaciones realizadas en la función colinérgica (Ch), según ha sido mostrado por estudios con lesiones o administración de drogas. Incrementar los niveles efectivos de acetilcolina en el cerebro mediante la administración sistemática de fisostigmina, ha demostrado que provoca un desplazamiento constante hacia la izquierda en las funciones temporales, mientras que decrementar dichos niveles mediante la administración sistemática de atropina, ha demostrado que produce un desplazamiento mantenido a la derecha en una función de estimación temporal (Meck, 1983, 1996; Meck y Church, 1987 en Meck, 2003).

Algunas lesiones cerebrales han demostrado tener efectos en la estimación temporal. Las lesiones en la fimbria-fornix o los cuerpos de las células Ch, en el área del septum medial que proyectan al hipocampo, provocan un desplazamiento a la izquierda, mientras que las lesiones de la corteza frontal o del cuerpo de las células Ch del núcleo basal magnocelular que proyectan a la corteza frontal, provocan un desplazamiento a la derecha en funciones de estimación temporal (Hills; Meck et al., 1987; Olton et al., 1987, 1988, en Meck, 2003).

El incremento de los niveles de dopamina parece acelerar el contador de pulsos o el reloj interno, provocando que los intervalos sean subestimados. Se señala que los pacientes de Parkinson se ven severamente afectados en su capacidad para estimar las duraciones de estímulos, puntualizándose así la importancia del ganglio basal en la estimación temporal.

Concretamente, el output de las neuronas dopaminérgicas en la sustancia negra juega un papel central en el inicio y mantenimiento del proceso de integración temporal que involucra circuitos córtico estriatales. Así, un incremento en los niveles de dopamina acelera el reloj y un decremento lo enlentece. Mediante la resonancia magnética, se ha observado la activación de loops córtico-tálamo-corticales durante tareas de estimación temporal en humanos. Lesiones frontales, parietales, temporales, occipitales y subcorticales afectan el procesamiento temporal lo cual puede dar cuenta de que no hay *un* centro biológico único de estimación temporal, sino que se trata de un fenómeno integral entre varias zonas.

Al respecto, se sabe que existe evidencia a favor de que neuronas estriatales y corticales están íntimamente involucradas en la estimación temporal de intervalos. En la investigación realizada por Matell, Meck y Nicolelis (2003 en Meck, 2003) se llega a la conclusión de que las neuronas codifican el output de la etapa de decisión del reloj interno. La pregunta principal que se hicieron fue si el proceso de estimación temporal es local o distribuido. Por un lado se tendría el hecho de que las neuronas encargadas de la estimación temporal estuvieran localizadas en una sola porción o parte del cuerpo estriado. La desventaja de una propuesta así es que en caso de, por ejemplo, algún daño físico en esa zona, la habilidad de estimación temporal desaparecería por completo. Es más factible, debido incluso al carácter psicológico del fenómeno de la estimación temporal, que éste sea un proceso más generalizado y distribuido. Así, lo que ocurre en el cuerpo estriado no da cuenta de todo el fenómeno, sino que es una parte o componente del complejo evento conductual.

Con la idea que el proceso de estimación temporal no puede ocurrir en regiones anatómicamente separadas, se desarrolla el modelo de frecuencia de pulsos estriatales (Striatal Beat Frequency por sus siglas en inglés). Matell, Meck y Nicolelis describen que el proceso está bajo la dependencia de circuitos córtico-estriatales que funcionan de la siguiente manera.

Cada neurona con espinas estriatal recibe miles de aferencias corticales cuya fuerza sináptica se ve modulada por la secreción de dopamina y mediante esta modulación puede ser entrenada para responder ante ciertos patrones específicos de actividad en la corteza.

De acuerdo a este modelo, la señal vendría de las neuronas corticales y la etapa de integración de la información se da mediante el cambio en el potencial de membrana de la neurona estriatal. La memoria temporal se almacena en forma de combinaciones específicas de pesos sináptico córtico estriatales. Así, cuando el número o combinación “adecuada” de neuronas corticales dispara simultáneamente, la neurona estriatal hace lo mismo. Si recordamos el modelo del reloj interno, lo descrito anteriormente equivaldría a la etapa de decisión ya que indica que el valor actual del acumulador (memoria de pesos sinápticos) es igual al almacenado en la memoria temporal.

Con la creación de este modelo, sin importar qué tan preciso fuera, se lograban realizar dos cosas. Primero, demostrar que era factible la construcción de un modelo de estimación temporal en el cual los componentes involucrados estuvieran anatómicamente cercanos. Segundo, la manera de operar de este modelo no era serial desde la etapa del reloj hasta la de decisión, en realidad, la señal del reloj era filtrada por las sinapsis (antes de ser integrada) constituyendo las memorias temporales. La misma manera en como está ensamblado anatómicamente el modelo nos hace pensar que la etapa del reloj no va en línea recta o de manera serial hasta la etapa de decisión, ya que existen circuitos córtico-estriato-talámico-corticales. Las eferencias del estriado pasan por los ganglios basales, a través del tálamo hasta la corteza, creando circuitos que generan un modelo de funcionamiento dinámico.

Para probar empíricamente este modelo, Matell, Meck y Nicolelis (2003), entrenaron a ratas en un procedimiento de IF que tomaba distintos valores (IF 10 e IF 40). Para garantizar que al analizar las neuronas estriatales lo que observarían se debiera exclusivamente a la tarea impuesta, hicieron un arreglo en el cual sólo había una palanca de respuesta y en donde colocaban una barrera alrededor de dicha palanca para asegurarse que el sujeto tan sólo pudiera responder con la pata delantera derecha. Así todas las respuestas serían idénticas en cuanto a la actividad motora observada.

Los autores realizaron un registro de neurona única y en los resultados que obtuvieron se observaron dos picos de respuesta alrededor de ambos tiempos (10s y 40s) pero también observaron un pico de actividad neuronal o pico de disparos de la unidad estriatal alrededor de los 10s y un aplanamiento (o pico más suave) alrededor

del valor de 40s. El primer pico (10s) equivaldría a la etapa de decisión hipotetizada por el modelo de frecuencia de pulsos estriatales (SBF). Estos patrones de disparo no fueron hallados en las neuronas corticales lo cual indicaba que el estriado no es una estación de relevo dentro del circuito sino que genera la decisión del reloj o genera el disparo.

REFERENCIAS

- Aum, S., Brown, B. L., y Hemmes, N. (2006). The effect of intruded events on peak time: The role of reinforcement history during the intruded event. Behavioural Processes.
- Buhusi, C.V. y Meck, W. H. (2000). Timing for the absence of a stimulus: The gap paradigm reversed. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 26, 305-322.
- Buhusi, C.V. y Meck, W. H. (2006). Interval timing with gaps and distracters: Evaluation of the ambiguity, switch, and time-sharing hypotheses. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 32, 329-338.
- Buhusi, C. V., Paskalis, J-P. G., y Cerutti, D. T. (2006). Time-sharing in pigeons: independent effects of gap duration, position and discriminability from the timed signal. Behavioural Processes, 71, 116-125.
- Buhusi, C. V., 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, 31, 18-30.
- Buhusi, C. V., Sasaki, A., Meck, W. H. (2002). Temporal integration as a function of signal and gap intensity in rats (*Rattus norvegicus*) and pigeons (*Columba livia*). Journal of Comparative Psychology, 116, 381-390.
- Burle, B. y Casini, L. (2001). Dissociation between activation and attention effects in time estimation: Implications for internal clock models. Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance, 27, 195-205.

Catania, A.C. (1970). Reinforcement schedules and psychophysical judgments: A study of some temporal properties of behavior. En W.N. Schoenfeld (Ed.), The theory of Reinforcement schedules, pp. 1-42. New York: Appleton-Century-Crofts.

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

Church, R. M. (1978). The Internal Clock. En Hulse, H. S., Fowler, H. y Honig, W. K. (Eds). Cognitive Processes in animal behavior, pp. 277- 310. Hillsdale, NJ: Erlabum.

Church, R. M. (1984). Properties of the internal clock. En J. Gibbon y L. Allan (Eds.), Annals of the New York Academy of Sciences: vol. 423. Timing and Time Perception. New York Academy of Sciences, New York, pp-566-582.

Church, R. M., Guilhardi, P., Keen, R., MacInnis, M. y Kirkpatrick, K. (2003). Simultaneous temporal processing. En H. Helfrich (Ed.), Time and Mind II: Information Processing Perspectives. Gottingen: Alemania: Hogrefe y Huber Publications, p. 3-19.

Flesher, M., y Hoffman, H. S. (1962). A progression for generating variable-interval schedules. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 5, 529-530.

Fortin, C. (2003). Attentional Time-Sharing in Interval Timing. En W.H. Meck Ed. Functional and neural mechanisms of interval timing. 235-260. Boca Ratón: FL, CRC Press.

Gibbon, J. (1977) Scalar Expectancy Theory and Weber's law in animal timing. Psychological Review, 84, 279 –

Hopson, J. W. (1999). Gap timing and the spectral timing model. Behavioural Processes, 45, 23-31.

Hopson, J.W. (2003). General Learning Models: Timing without a clock. En W.H. Meck Ed. Functional and neural mechanisms of interval timing. 23-60. Boca Ratón: FL, CRC Press.

Kaiser, D. H., Zentall, T. R. y 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. y Fetterman, J.G. (1988). A behavioral theory of timing. Psychological Review, 95, 247 – 295.

Kirkpatrick-Steger, K., Miller, S., S., Betti, C.A. y Wasserman, E.A. (1996). Cyclic Responding by Pigeons on the Peak Timing Procedure. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 22, 447-460.

Kirkpatrick, K., y Church, R. M. (1998). Are separate theories of conditioning and timing necessary? Behavioural Processes, 44, 163-182.

Machado, A. (1997). Learning the Temporal Dynamics of Behavior. Psychological Review, 2, 241-265.

Machado, A., y Cevik, M. (1998). Acquisition and extinction under periodic reinforcement. Behavioural Processes, 44, 237-262.

Matell, S.M., y King, G. R. (2004). Differential Modulation of Clock Speed by the Administration of Intermittent Versus Continuous Cocaine. Behavioral Neuroscience, 1, 150-156

- Matell, M. S., Meck, W.H., y Nicolelis, M. A. L. (2003). Integration of Behavior and Timing: Anatomically Separate Systems or Distributed Processing. En W.H. Meck Ed. Functional and neural mechanisms of interval timing, 371-391. Boca Ratón: FL, CRC Press.
- Meck, W. H., y Church, R. M. (1982). Abstraction of temporal attributes. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 8, (3), 226-243.
- Meck, W. H., y Church, R. M. (1984). Simultaneous Temporal Processing. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 10, 1-29.
- Roberts, S. (1981). Isolation of an Internal Clock. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 7, 242-268.
- Roberts, S. (1998). The Mental Representation of Time: Uncovering a Biological Clock. En Osherson, D.N., Scarborough, D, Sternberg, S, Eds., Methods, Models and Conceptual Issues, Vol. 4, 53-106. London, England, MIT Press.
- Roberts, S. y Church, R. M. (1978). Control of an Internal Clock. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 4, 318-337.
- Staddon, J. y Higa, J. (1999). Time and memory: Towards a pacemaker free theory of interval timing. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 71, 215 – 251.
- Zentall, T. R. (2005). Timing, memory for intervals, and memory for untimed stimuli: The role of instructional ambiguity. Behavioural Processes, 70, 209-222.

Zentall, T.R., y Kaiser, D., H., (2005). Interval timing with gaps: Gap ambiguity as an alternative to temporal decay. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 31, 484-486.