

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO

Modelos en Estimación Temporal

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTOR EN PSICOLOGÍA

P R E S E N T A:

Judith Marina Menez Díaz

DIRECTOR DE TESIS: DR. FLORENTE LÓPEZ

COMITÉ TUTORAL

DR. ARMANDO MACHADO

DR. GERMÁN PALAFOX

DRA. MARTHA ESCOBAR

DR. JAVIER NIETO

DR. ARTURO BOUZAS

DR. ALFREDO MENESES

TESIS FINANCIADA POR LOS PROYECTOS CONACYT 37802-H

PAPIIT IN 301505-3

MÉXICO, D.F.

ENERO, 2006



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.

INDICE

Resumen

| | |
|---|----|
| Introducción | 1 |
| Reseña de las Aproximaciones a la Conducta Temporalmente Regulada | 4 |
| Aprendizaje Temporal | 11 |
| Adquisición bajo Reforzamiento Periódico | 12 |

Experimento 1a.

| | |
|--|----|
| Efectos del preentrenamiento sobre el curso del aprendizaje temporal | 17 |
| Método | 21 |
| Resultados | 26 |

Experimento 1b.

| | |
|---|----|
| Efectos del preentrenamiento con programas de entrega no contingente de reforzadores sobre el curso del aprendizaje temporal | 43 |
| Método | 44 |
| Resultados | 48 |
| Discusión | 59 |

| | |
|--|----|
| La Metáfora del Reloj | 67 |
| El procedimiento de pico con interrupciones o procedimiento de gap | 69 |
| Hipótesis del decaimiento del recuerdo | 73 |
| Hipótesis de la ambigüedad instruccional | 75 |

Experimento 2.

| | |
|---|-----------|
| Efectos de la duración mínima del intervalo entre ensayos y la duración de la interrupción en el modo de operación del reloj interno | 78 |
| Método | 79 |
| Resultados | 81 |
| Discusión | 87 |

Experimento 3.

| | |
|--|-----------|
| La estimación de una señal bimodal y los modos de operación del reloj interno | 91 |
| Método | 93 |
| Resultados | 97 |
| Discusión | 103 |

| | |
|--|------------|
| Discusión y Conclusiones Generales..... | 107 |
|--|------------|

Anexo A

| | |
|---|------------|
| Reseña sobre las bases neurofisiológicas de la estimación Temporal..... | 115 |
| Referencias | 120 |

Resumen

El presente trabajo abordó problemas relacionados con la adquisición del control temporal y la metáfora del reloj. El primer experimento analizó la adquisición en el contexto de las predicciones del modelo dinámico LeT, acerca del efecto del preentrenamiento sobre el curso del aprendizaje del tiempo. Para ello, se crearon tres historias de reforzamiento, en distintos grupos de ratas, antes de introducir un programa de intervalo fijo. Los resultados se ajustaron cualitativamente a las predicciones de LeT en cuanto a las condiciones iniciales y cómo fueron evolucionando hasta llegar al patrón de respuesta de estado estable característico del programa de intervalo fijo. Los dos últimos experimentos evalúan aspectos de procedimiento y características de la señal a estimar sobre el modo de operación del reloj interno. Los resultados apuntan a una posible contribución de la tasa de respuesta como determinante del modo de operación, susceptible de ser explicado por los modelos de aprendizaje temporal.

Abstract

The present work deals with research problems related to temporal control acquisition and the clock metaphor. Experiment 1 evaluates predictions of the Learning to Time model about the effects of pre-training conditions on the trajectory of temporal learning. Different groups of rats were exposed to continuous reinforcement, random interval and fixed-time schedules before a fixed interval schedule of reinforcement was introduced. Results were qualitatively consistent to Learning to Time predictions: initial conditions depended of previous schedules and the trajectories until typical stable state was reached, evolved as the model indicated. In two other experiments, procedural and stimulus aspects that may be involved in the operation mode of the internal clock were evaluated, using rats under the gap procedure. Changes in peak time were related to both, the duration and the location of the break, as the memory decay hypothesis postulates. However, the pattern of results also suggested that these findings can also be accounted for by response rate factors as dynamic models of temporal learning indicate.

Introducción

Un aspecto importante en el fenómeno del control temporal es comprender cómo ocurre este tipo de aprendizaje. Las dos principales teorías, de expectancia escalar (Gibbon, 1977) y conductual (Killeen y Fetterman, 1988), se enfocan en explicar la propiedad escalar y otras características de la ejecución en estado estable, pero no la adquisición de la conducta temporalmente regulada. Entre las propuestas que sí lo abordan, está el modelo LeT (Learning to Time, Machado, 1997), que propone como base de esta adaptación el establecimiento de ligas asociativas entre los estados conductuales activados por el reforzador y la respuesta operante, mediadas por el reforzamiento y la extinción. Una predicción que se deriva de LeT se refiere a la trayectoria que seguirá el aprendizaje en un programa de intervalo fijo (IF), dependiendo del tipo y cantidad de entrenamiento previo. El modelo describe el curso del control temporal bajo condiciones estándar: programación de algunas sesiones de reforzamiento continuo seguidas de la introducción del IF, pero no existe una evaluación de los posibles efectos de otro tipo de entrenamiento, anterior a la presentación del intervalo fijo, que valide las predicciones de LeT e indique las implicaciones para éste o futuros modelos, por lo que en el primer experimento de este trabajo se abordará ese problema.

Otro aspecto central para las teorías de aprendizaje temporal se refiere al componente del reloj. Numerosa investigación ha buscado determinar las propiedades del reloj interno (Church, 1978; Roberts, 1981; Wearden, 2002; Penney, 2003), partiendo del supuesto de la teoría escalar de que dicho reloj está

compuesto de un generador de pulsos con un switch que permite el paso de los mismos a un acumulador-contador, el cual lleva el registro de la duración. Se supone que en condiciones estándar, en las que la señal que se está estimando se presenta de manera ininterrumpida, el switch permanece cerrado, dejando pasar los pulsos del generador al acumulador, pero si la señal se interrumpe, el switch se abre, impidiendo que los pulsos se sigan acumulando (Gallistel y Gibbon, 2000). Algunas hipótesis proponen que, bajo algunas condiciones, los pulsos acumulados (duración) hasta antes de la interrupción se mantienen en memoria y pueden agregarse a los que habrán de llegar una vez que la señal se reanude. A esta forma de operación del reloj se le llama modo “retención” o “detención-retención”. Pero, es posible que la interrupción de la señal produzca el vaciado del acumulador, de manera que cuando la señal se reanuda, el conteo de pulsos inicie de cero. A este modo de operación se le llama “re-inicialización” (Cabeza de Vaca, Brown y Hemmes, 1994).

Los estudios se han orientado a investigar bajo qué condiciones aparece un modo de operación u otro, encontrándose que a veces depende de la especie (Roberts, Cheng y Cohen, 1989), de la cantidad de entrenamiento (Church, 1982 citado en Cabeza de Vaca, Brown y Hemmes, 1994) o del decaimiento del recuerdo (Cabeza de Vaca et al., 1994; Buhusi, 2003; Buhusi, Perera y Meck, 2005; Hopson, 1999; 2003). También existen explicaciones que no hacen referencia a esos factores, sino a las condiciones estímulo. Por ejemplo, Kaiser, Zentall y Neiman (2002) atribuyen los modos de operación al control discriminativo. Los dos últimos experimentos que aquí se reportan evalúan esta alternativa, al analizar

cómo algunos aspectos del procedimiento y las características de la señal a estimar pueden afectar el modo de operación del reloj. Los resultados se tratan de explicar según un modelo asociacionista del control temporal.

Reseña de las Aproximaciones a la Conducta Temporalmente Regulada

El estudio del ajuste conductual a las dimensiones temporales del mundo físico tiene tres orígenes: los ritmos biológicos, la psicofísica humana y el aprendizaje animal (Church, 2002). Las teorías de estimación temporal se configuran a partir de las preguntas que se formulan los dos últimos: ¿cómo es la relación entre el tiempo subjetivo y el tiempo físico? y ¿cuál es el efecto de intervalos arbitrarios entre estímulos sobre la conducta de los animales? (Allan, 1979; Killeen, Fetterman y Bizo, 1997; Church, 2002). Ambos cuestionamientos encontraron respuesta en el área del aprendizaje animal.

Por ejemplo, en estudios de conducta operante se encontró que la entrega del reforzador para una respuesta que depende de que pase un tiempo fijo a partir de un estímulo indicador, produce ciertas regularidades en el comportamiento de ratas y pichones (Shull, 1979; Gibbon, 1977; Staddon, 2003). Las principales son la relación lineal creciente entre la media del estimado del tiempo y la duración entrenada, y la propiedad escalar, o aumento proporcional de la desviación estándar de los estimados, a medida que se incrementa la duración objetivo. Gibbon y cols., denominaron a este fenómeno *estimación temporal escalar* (Allan, 1979; Stubbs, Dreyfus y Fetterman, 1984; Church, 2002).

Derivado de esta propiedad se obtiene la sobre-posición de las funciones de respuesta cuando se expresan en forma relativa y la constancia del coeficiente de variación (razón de la desviación estándar a la media de los estimados), para un rango más o menos amplio de duraciones, lo que significa que una sensibilidad

relativa al tiempo, comparable a la capturada por la ley de Weber en psicofísica para diversas modalidades sensoriales, se aplica a la conducta temporalmente regulada (Gallistel y Gibbon, 2000).

Gibbon concluyó que estas regularidades proporcionaban información acerca del mecanismo involucrado en la estimación del tiempo y, basándose en el modelo de Treisman (1963) para la estimación temporal humana (Fetterman y Killeen, 1990), propone su Teoría de la Expectancia Escalar (SET, por sus siglas en inglés). En ella postula tres procesos en la estimación del tiempo: el de “reloj”, compuesto por un módulo “generador de pulsos-acumulador”; el de almacenamiento de la información temporal relevante o módulo de “memoria”, que puede ser transitoria o permanente, y el proceso de “decisión”, que con base en una regla de respuesta relativa y un umbral, determina si el organismo emite o no la respuesta. En la figura 1 se ejemplifica el proceso de estimación en un programa de intervalo fijo: al presentarse un estímulo que señala el inicio de la duración a ser estimada, se echa a andar un generador de pulsos periódico que envía los pulsos al acumulador, éste registra el número de emisiones hasta la entrega del reforzador. Al finalizar el intervalo con la entrega de alimento, el conteo de los pulsos se almacena en la memoria de referencia. Cuando se reinicia el ciclo, el animal compara el registro actual (memoria de trabajo) con el que guardó en la memoria de referencia y por medio de una regla de decisión relativa, resuelve si es el momento de responder.

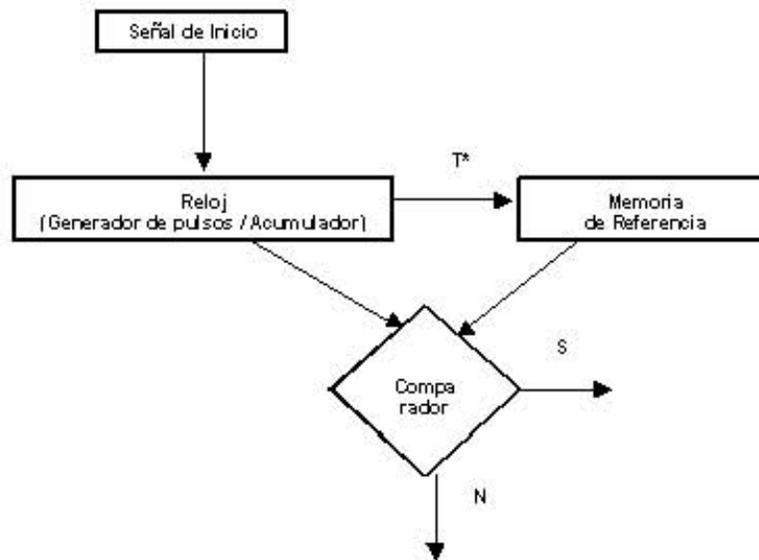


Figura 1.1 Diagrama de un modelo de procesamiento de información de la estimación temporal. Ver texto para detalles.

Según Gibbon, la variabilidad que se genera en estos procesos, aunada a la regla de comparación relativa entre memorias, son las responsables de la aparición de la propiedad escalar en la estimación del tiempo (Gibbon, 1977, 1991; Gibbon y Church, 1990).

Desarrollos posteriores (Gibbon y Church, 1990), atribuyen el error escalar a la constante multiplicativa que transfiere el valor almacenado en la memoria de trabajo a la memoria de referencia y a la variabilidad del criterio o umbral de decisión, además de afirmar que el reloj contribuye con dos fuentes no escalares: la proveniente de la latencia del interruptor, que introduce una fuente de variabilidad constante y la del generador de pulsos, que incorpora variabilidad de

tipo poisson, esto es, incrementos en la varianza de los estimados del tiempo proporcionales a la media de los mismos. Estas dos últimas fuentes de variabilidad no escalar son anuladas por las fuentes escalares ya mencionadas.

La principal ventaja de SET es su flexibilidad, ya que modificando el modo de operación del reloj, la regla o los umbrales de decisión, da cuenta de la ejecución en gran variedad de procedimientos (por ejemplo, estimación temporal retrospectiva, prospectiva e inmediata, según la clasificación de Killeen y Fetterman, 1998) sin producir violaciones graves a la propiedad escalar. Considerando que esa misma flexibilidad vuelve a la teoría poco parsimoniosa además de prácticamente irrefutable, otros investigadores proponen teorías alternativas (Staddon y Higa, 1999).

Entre ellas, la más completa, conceptual y formalmente, es la Teoría Conductual de Estimación Temporal o BeT, por sus siglas en inglés, (Killeen y Fetterman, 1988), que sostiene que la conducta temporalmente regulada se rige por principios básicos de aprendizaje, poniendo especial énfasis en el papel del comportamiento como mediador de la estimación temporal (Harper y Bizo, 2000; Church, Meck y Gibbon, 1994). BeT asume que las conductas se asocian con una secuencia de estados internos y que los pulsos de un “pacemaker” provocan las transiciones entre estos estados (Fetterman y Killeen, 1991; Killeen y Fetterman, 1993). El hecho de que la secuencia de estados originados por el reforzador tienda a repetirse en un mismo orden, permite que cuando la respuesta requerida ocurre y es reforzada, los estados conductuales más cercanos se conviertan en estímulos

discriminativos para la misma, aumentado así su probabilidad de ocurrencia en el futuro. La conducta mediadora sobre la que se establece la discriminación condicional puede ser conducta adjuntiva, colateral, supersticiosa, interina o terminal (Bizo y White, 1995; Harper y Bizo, 2000).

De los componentes propuestos por SET, BeT conserva únicamente la noción de un sistema generador de pulsos de tipo poisson, cuya tasa determina la velocidad a la que se van sucediendo los estados conductuales. En este esquema, el error proveniente del generador de pulsos, del contador, o de ambos, es el responsable de la propiedad escalar (Weiss y Killeen, 1987).

No obstante, la postulación de un generador de pulsos tipo poisson produciría la violación de la propiedad escalar, ya que con éste la varianza (y no la desviación estándar) de los estimados, aumentaría proporcionalmente con la media de la duración estimada, de manera que las duraciones más largas serían estimadas con mayor precisión relativa (Gibbon, 1977), predicción contraria a la constancia del coeficiente de variación ampliamente documentada. A fin de preservar la propiedad escalar sin abandonar el supuesto de un reloj poisson, Killeen y Fetterman proponen que la tasa del generador de pulsos depende de la tasa de reforzamiento presente en el contexto. Al variar la duración del intervalo entre reforzadores, hay un cambio en la *tasa del generador de pulsos*, no en la *cantidad* de los mismos, que permanece constante, de manera que la transición entre los estados conductuales es más lenta en duraciones mayores y más rápida en duraciones pequeñas, preservándose así la propiedad escalar. En 1997, Machado

desarrolla la versión dinámica de BeT, LeT (Learning to Time), proponiendo algoritmos específicos que detallan cómo ocurre el aprendizaje temporal. Más adelante se describirá el modelo.

Sin embargo, no han faltado investigadores que rechazan la noción de un “reloj” que registra el paso del tiempo. Por ejemplo, Hopson (1999, 2003) propone un modelo conexionista, dotado de un algoritmo de retro-propagación en la capa oculta de una red neuronal simple (la capa oculta se retroalimenta a sí misma al utilizar su estado previo como parte del input del estado siguiente), que permite el aprendizaje del tiempo (para una propuesta semejante, véase Miall, 1993). Este modelo reproduce las principales características de la ejecución en las siguientes tareas de estimación temporal inmediata: el programa de intervalo fijo, el procedimiento de pico y el procedimiento de pico con interrupciones (llenas y vacías), aunque fracasa en obtener la propiedad escalar en valores fuera de cierto rango temporal.

El modelo de estimación temporal general de Hopson simula el escalamiento en la estimación por medio del ajuste de los pesos entre la capa de entrada y la capa oculta de la red. Los pesos determinan la tasa a la que se activan los nodos de la capa oculta: pesos grandes hacen que la activación aumente rápidamente, permitiendo que el modelo aprenda a responder a intervalos muy cortos. Con pesos muy pequeños, la activación aumenta lentamente, posibilitando que el modelo aprenda a responder a intervalos más largos (Hopson, 2003).

Otro modelo que prescinde del reloj es el propuesto por Staddon y Higa (1999), en el que trazos temporales múltiples producidos por un marcador temporal, decaen a distintas tasas proporcionando un patrón que el animal aprende a asociar con el reforzamiento (para otra propuesta que omite el reloj, véase Reid y Allen, 1998).

Los principales cuestionamientos a SET hacen referencia a la complejidad de los procesos que dicho modelo supone subyacen a la estimación del tiempo y que podrían ser explicados por procesos más simples (Killeen y Fetterman, 1988; Staddon, 2003), el no hacer referencia a los mecanismos de aprendizaje implicados (Staddon y Higa, 1999; Machado, 1997) y su poca plausibilidad biológica (Mattell, Meck y Nicolelis, 2004; para una reseña de las bases neurológicas de la estimación temporal, véase el anexo A), aunque estas dos últimas críticas son aplicables a la mayoría de las teorías de estimación temporal. Pese a estas y otras críticas, SET se distingue por ser la teoría más referida para explicar la estimación y el control temporal.

De la teoría de expectancia escalar se origina la metáfora del “reloj interno” (Church, 1978, 1984), la cual afirma que el reloj funciona como un cronómetro, es preciso y su tasa puede ser alterada (Roberts, 1998). Esta metáfora ha guiado la investigación en humanos, área en la que se le considera como un constructo con validez empírica, ya que los investigadores sostienen que la velocidad del reloj puede ser afectada mediante la manipulación de estímulos presentados previos a la tarea de estimación, de la temperatura o a través del consumo de cafeína (equivalente a la inyección de metanfetamina en ratas), provocando cambios en la

duración percibida congruentes con dicha manipulación (Wearden y McShane, 1988; Wearden, Edwards, Fakhri, & Percival, 1998; Wearden, Parry y Stamp, 2002; Wearden, 2003). También se ha estudiado el efecto del procesamiento de los atributos del estímulo a estimar, encontrándose que la modalidad de la señal afecta la velocidad de cierre y apertura del switch y la tasa de generación de pulsos del reloj y con ello, la duración percibida de los estímulos (Allan, 1998; Droit-Volet, 2003; Fortin, 2003; Grondin, 2001; Wearden, 1999; Zakay, 2000; Lejeune, 1998; Penney, 2003; Penney, Allan, Meck y Gibbon, 1998).

Se considera que las investigaciones sobre la metáfora del reloj proporcionan apoyo a la teoría de expectancia escalar porque concuerdan con su formulación de la existencia y características del reloj y del almacén de memoria. No obstante, teorías alternativas que incluyan las nociones de un generador de pulsos (p.e., BeT) o la activación (el modelo conexionista de Hopson o LeT) podrían, en principio, dar cuenta de estos resultados sin hacer referencia a los componentes cognoscitivos ya mencionados. Se requiere de un análisis de estos fenómenos a la luz de tales modelos para evaluar su poder explicativo.

Aprendizaje Temporal

La carencia de investigación sobre el desarrollo del aprendizaje temporal puede atribuirse al hecho de que el descubrimiento de la propiedad escalar influyó en el interés de las teorías líderes por dar cuenta de ese estado final, encontrado en distintos procedimientos temporales, y no para explicar cómo se llega a él. Por ello, Staddon y otros investigadores proponen el estudio de la dinámica del control

temporal para comprender qué aprende el organismo y cuáles son los principios que rigen este aprendizaje (Staddon y Cerutti, 2003). Algunos modelos han abordado esta cuestión, como el ya referido de Hopson (1999; 2003) y el de Machado (1997). En la siguiente sección se esboza este último, pues es el modelo que sustenta los propósitos del presente proyecto en relación al aprendizaje temporal.

Adquisición bajo reforzamiento periódico

En respuesta a lo propuesto por Staddon y colaboradores, surge a finales de los años 90 el modelo LeT (Learning to Time, Machado, 1997), una extensión dinámica de BeT. Church (Kirkpatrick y Church, 1998) lo denomina una “teoría híbrida”, por intentar explicar el condicionamiento y la estimación temporal por medio de un mecanismo común. Aunque existen otros modelos con estas características (por ejemplo, el de osciladores múltiples de Church y Broadbent, 1990 o la teoría espectral de estimación temporal de Grossberg y Schmajuk, 1989), LeT es el único que se desarrolló específicamente para explicar la adquisición del control temporal.

Según LeT, la regulación temporal de la conducta deriva de tres procesos fundamentales que se pueden resumir de la siguiente manera:

1. Organización secuencial de estados conductuales. Se supone que un marcador temporal (Figura 2 (1)) que constituya un buen predictor del reforzador, desencadenará una serie de estados conductuales (Figura 2

(2)). La activación de cada estado es una variable que depende del tiempo, con el parámetro λ regulando la velocidad con que la activación se difunde a los estados subsecuentes. Esto se representa en la Ecuación 1. El parámetro λ dispone el potencial o máximo grado de regulación temporal alcanzable.

$$X(t, n) = \frac{\exp(-\lambda t)(\lambda t)^n}{n!} \dots\dots\dots(1)$$

2. Vector de lazos asociativos entre los estados y la operante. Este es el componente de aprendizaje que describe la forma en que los estados conductuales logran regular la respuesta operante. El lazo asociativo es descrito por medio de las combinaciones lineales de dos parámetros de aprendizaje: reforzamiento (β) y extinción (α), representados en las Ecuaciones 2 y 3, cuyos efectos relativos dependen del parámetro γ ($\gamma=\alpha/\beta$), y del parámetro denominado A, factor escalar de la respuesta relacionado con el valor incentivo del reforzador. El lazo asociativo (Figura 2 (3)) entre el estado vigente y la operante (Figura 2 (4)) incrementa a un máximo durante el reforzamiento, a una tasa proporcional a la activación del estado en el momento en que el reforzador es entregado (Ecuación 2), mientras que durante la extinción (Ecuación 3), la fuerza asociativa decae, también de manera proporcional a la activación.

$$W(t, n) = W(0, n) \exp \left[-\alpha \int_0^t X(\tau, n) d\tau \right] \dots\dots\dots(2)$$

$$W(d, n) = K - (K - W(T, n)) \exp[-\beta X(T, n)d] \dots \dots \dots (3)$$

3. Regla de respuesta. Lo que determina la probabilidad de la respuesta momento a momento dentro del intervalo entrenado, es la suma del producto del nivel de activación de cada estado por la fuerza asociativa respecto a la operante (Ecuación 4 y Figura 2 (5)). Los estados que están más activos y más fuertemente asociados con la respuesta operante ($X(t, n)$ elevado) ejercerán más control sobre ésta que los estados que estén menos activos ($X(t, n)$ de menor valor) o que tengan menor fuerza asociativa (bajo W). El patrón de respuesta en intervalo fijo es un ejemplo de la implementación de esta regla.

$$R(t) = A \sum_{n=1} \frac{X(T, n)}{X(T, n) + \gamma \int_0^t X(\tau, n) d\tau} \times X(t, n) \dots \dots \dots (4)$$

LeT enfatiza el segundo proceso, pues es el que captura la historia de aprendizaje del animal y explica el desarrollo del control temporal.

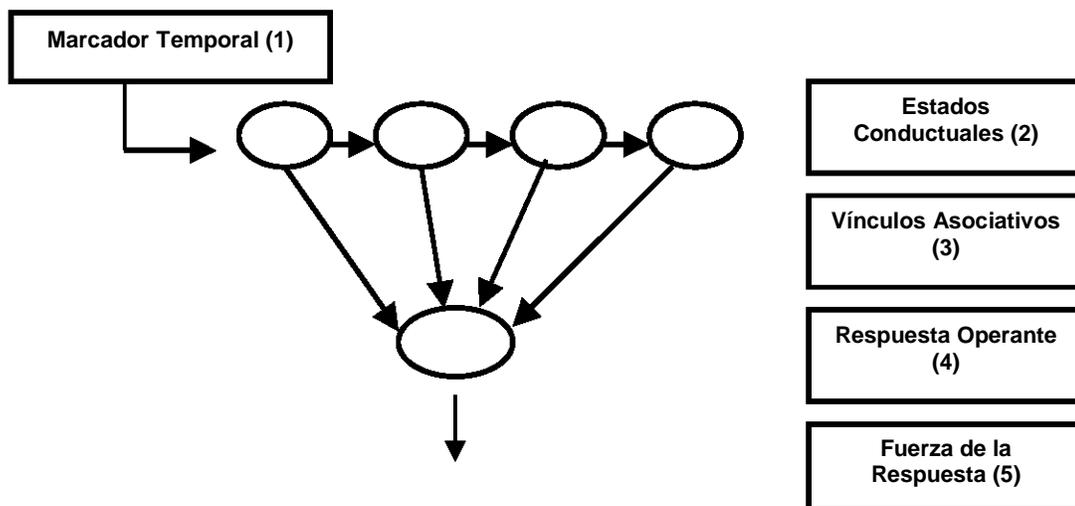


Figura 1.2 Componentes del modelo. Un marcador temporal (por ejemplo, alimento) inicia la difusión de la activación a través de los estados conductuales. Cada estado está asociado en cierto grado con la respuesta operante. La activación de los estados multiplicada por sus vínculos asociativos determina la fuerza de la respuesta operante.

Basándose en los resultados de la simulación de su modelo, Machado (1997) describe cuatro etapas en la exposición inicial a un programa de intervalo fijo (IF): en el ensayo 1, la tasa de respuesta aumenta rápidamente después del reforzamiento, para caer posteriormente, produciendo un festón invertido en el registro acumulado; en la etapa 2, la tasa aumenta al inicio del intervalo entre reforzadores (IRI, por sus siglas en inglés), manteniéndose relativamente constante hasta el final del intervalo, lo que genera una recta en el registro acumulado; en la etapa 3, el registro acumulado mostraría un leve festón; por último, en la cuarta etapa, el festón estaría claramente desarrollado. Estas etapas ya habían sido descritas por Ferster y Skinner (1957) aunque no profundizaron sobre las posibles causas de su aparición.

Machado y Cevik (1998) efectúan un estudio de adquisición y extinción, en el que someten a palomas a un programa de intervalo fijo seguido de extinción, cuyos resultados corroboran las principales predicciones del modelo. Los autores resumen así la adquisición: a medida que transcurren las sesiones, se observa un decremento en la tasa de respuesta en el primer segmento del IRI (que abarca aproximadamente la mitad del intervalo) y un incremento durante el segundo segmento. Se observa, además, que la tasa de respuesta del primer segmento se aproxima más rápidamente a estabilidad que la tasa de respuesta en el segundo segmento. Estos cambios dan la impresión de que existe un punto de rotación ubicado en la transición del primer al segundo segmento del IRI, que se mantiene constante a lo largo del entrenamiento.

Lo anterior permite afirmar que LeT predice adecuadamente las distintas fases de adquisición del control temporal y sus propiedades en estado estable, además de algunas características del patrón de respuesta en extinción. Asimismo, describe razonablemente las ejecuciones en otros procedimientos usuales en el estudio de la conducta temporalmente regulada, como el procedimiento de pico, el de bisección, la estimación temporal simultánea (Machado, 1997) y modificaciones al procedimiento de bisección (Machado y Pata, 2005).

Es un hecho de que a pesar de la gran cantidad de investigación que generaron los programas de intervalo fijo (1475 referencias sobre intervalo fijo, en 171 revistas, de acuerdo con una revisión de Guilhardi y Church, 2004), existe un número limitado de estudios enfocados a analizar la adquisición del control

temporal. Por ello, el presente trabajo se limitará a mencionar el único (Machado y Cevik, 1998) que ha abordado la descripción de las fases del aprendizaje temporal.

Una de las interrogantes que se deriva de LeT se refiere a la trayectoria que seguirá el control temporal cuando se varían la cantidad y el grado de condicionamiento de los estados conductuales, antes de introducir el programa periódico. Al respecto, Machado afirma que “la conducta del organismo en las primeras fases de exposición al programa de Intervalo Fijo dependerá de los valores de fuerza asociativa que tengan los estados conductuales al inicio, lo cual a su vez dependerá del tipo y cantidad de entrenamiento previo” (Machado, 1997, p. 247). En el caso más común, en que el animal recibe un breve entrenamiento bajo reforzamiento continuo, se puede suponer que únicamente los primeros estados estarán asociados a la operante (Machado, op. cit.) y que la adquisición se desarrollará de la manera ya especificada, por lo tanto se puede hipotetizar que si las condiciones de preentrenamiento son distintas a RF1, será posible encontrar un curso diferente en la adquisición. El experimento siguiente evalúo esta suposición.

temporal. Por ello, el presente trabajo se limitará a mencionar el único (Machado y Cevik, 1998) que ha abordado la descripción de las fases del aprendizaje temporal.

Una de las interrogantes que se deriva de LeT se refiere a la trayectoria que seguirá el control temporal cuando se varían la cantidad y el grado de condicionamiento de los estados conductuales, antes de introducir el programa periódico. Al respecto, Machado afirma que “la conducta del organismo en las primeras fases de exposición al programa de Intervalo Fijo dependerá de los valores de fuerza asociativa que tengan los estados conductuales al inicio, lo cual a su vez dependerá del tipo y cantidad de entrenamiento previo” (Machado, 1997, p. 247). En el caso más común, en que el animal recibe un breve entrenamiento bajo reforzamiento continuo, se puede suponer que únicamente los primeros estados estarán asociados a la operante (Machado, op. cit.) y que la adquisición se desarrollará de la manera ya especificada, por lo tanto se puede hipotetizar que si las condiciones de preentrenamiento son distintas a RF1, será posible encontrar un curso diferente en la adquisición. El experimento siguiente evalúo esta suposición.

Experimento 1a. Efectos del preentrenamiento sobre el curso del aprendizaje temporal

En el experimento 1a se programaron tres condiciones de preentrenamiento que maximizan las posibles diferencias en términos del número de estados conductuales condicionados y, por consiguiente, de los valores de tasa de

respuesta esperados. Los programas fueron reforzamiento continuo (RF1), intervalo aleatorio (RI) y tiempo fijo (TF). El programa RF1 reprodujo las condiciones típicas del experimento de Machado y Cevik (1998) y sirvió como base para contrastar la ejecución entre historias distintas.

De acuerdo con LeT, la experiencia en RF1 propicia que la asociación de la respuesta requerida con los estados conductuales iniciales sea fuerte, por lo que a la introducción del IF, se tendrán tasas de respuesta altas en la primera parte del intervalo, seguidas de tasas muy bajas durante el resto del IRI. Por sus características, el RI debiera producir el condicionamiento de un número mayor de estados conductuales, reflejado en tasas de respuesta altas que se mantengan a todo lo largo del intervalo presentado. El programa TF, debido a la activación producida por la entrega periódica del reforzador, debiera producir la aparición secuenciada y relativamente invariante de estados conductuales pero no se establecería la asociación entre éstos y la respuesta operante, puesto que la respuesta no es requisito para la entrega del reforzador.

De acuerdo con LeT, los cambios a medida que transcurre el entrenamiento en IF deberían reflejarse en los dos segmentos identificables del IRI. En particular, para los grupos con historia RF1 y RI, se espera que al principio del entrenamiento en intervalo fija se produzca una disminución de la tasa de respuesta durante el primer segmento, respecto del nivel alcanzado durante el entrenamiento en dichos programas, acompañado de su incremento en el segundo segmento, considerado también a partir del nivel producido por el programa antecedente. Estos cambios

conservarán la diferencia en velocidad, de ambos segmentos, hasta alcanzar el estado estable ya referido en el estudio de Machado y Cevik, op cit.

Para el grupo con historia en TF, se espera, por el contrario, una tasa de respuesta muy baja al inicio del entrenamiento en IF. Pero, a medida que transcurre el entrenamiento, se predice la ausencia de respuestas en la parte inicial del intervalo y los mismos incrementos progresivos de la tasa durante el segundo segmento del IRI que se observaron en los programas RF1 y RI.

En lo que hace a la pausa pos reforzador o PPR, se espera que en los grupos RF1 y RI, el valor inicial sea bajo, seguido del incremento paulatino de su duración, hasta estabilizarse alrededor de los dos tercios del valor del intervalo entre reforzadores. Para el grupo TF, dada la baja probabilidad de respuesta, se esperan pausas grandes, que irán disminuyendo hasta estabilizarse en los dos tercios del IRI. En la Tabla 1.1 se resumen los principales cambios esperados.

| Programa Antecedente | Estados condicionados antes del IF | Tasa de respuesta esperada en la sesión inicial de IF | Valor de la pausa pos reforzador en las sesiones iniciales de IF y durante el resto del entrenamiento |
|-------------------------------|--|---|---|
| Reforzamiento continuo | Iniciales | Alta en la parte inicial del intervalo, que disminuye a medida que éste transcurre. | Breve al inicio, estabilizándose en un valor entre uno y dos tercios del intervalo entrenado, conforme transcurre el entrenamiento. |
| Intervalo Aleatorio | Todos los estados activados durante el intervalo aleatorio programado. | Alta, manteniéndose constante a todo lo largo del intervalo entrenado. | Breve y variable, aumentando y estabilizándose en un valor entre uno y dos tercios del intervalo entrenado, a medida que transcurre el entrenamiento. |
| Tiempo Fijo | Ninguno | Muy baja | Mayor, respecto a la generada por las otras dos condiciones. |

Tabla 1.1 Se presentan los efectos esperados por el preentrenamiento en los estados conductuales, la tasa de respuesta y la pausa pos reforzador en las primeras sesiones de reforzamiento periódico.

MÉTODO

Sujetos

Se utilizaron 30 ratas macho albinas (Wistar), sin historia experimental, de aproximadamente tres meses de edad, provenientes del bioterio de la Facultad de Psicología de la UNAM, alojadas en cajas-habitación individuales, bajo un ciclo luz-oscuridad de 12 x 12 hrs. (con encendido de las luces a las 7:00 am), acceso libre a agua y mantenidas al 80% de su peso bajo ingesta libre. Las sesiones experimentales se condujeron siete días a la semana, por las mañanas y parte de las tardes. Se corrieron simultáneamente al menos tres animales.

Aparatos

Se utilizaron cuatro cajas de condicionamiento operante de aluminio, de dimensiones 30.5 centímetros de ancho por 35 centímetros de profundidad y 36 centímetros de altura, provistas de una palanca fija y un dispensador de líquido. La palanca, de 4.8 cm de ancho, sobresalía 2 cm dentro de la caja y se localizó a 7 cm de la rejilla sobre la que se posaba el animal y a 7.5 cm de la pared lateral izquierda. La palanca estaba conectada a un micro switch que requirió aproximadamente 0.3 N para operar. El orificio del dispensador de líquidos se localizó en la parte central de la pared frontal, a 5 cm de la rejilla. Una luz de 28V se localizó en el techo de la caja, proporcionando la iluminación general. Otra luz se localizó encima de la palanca y una más, sobre el orificio del dispensador. El reforzador consistió en una mezcla de leche condensada diluida en agua, en una proporción de 1:2 y fue entregado en una cucharilla levadiza con una capacidad

aproximada de 0.1 ml., a través de un orificio ubicado en el centro de la pared frontal. Para dos cajas, la cucharilla llena de leche diluida se elevó al momento del reforzamiento, mientras que para las otras dos cajas, esta cucharilla estuvo presente siempre, bajando y subiendo al momento del reforzamiento, para llenarse. En la parte exterior de la caja se acondicionó un ventilador como extractor de aire y enmascarador de ruidos externos.

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 décima de segundo.

Procedimiento

Entrenamiento manual a comedero

Todos los sujetos fueron entrenados manualmente a reconocer el comedero. Al inicio de la sesión se encendía la luz general y una luz situada encima de la abertura en la que se colocaría la palanca izquierda en la fase de introducción del intervalo fijo. Cada vez que el animal se acercaba a olisquear el comedero, se le entregaba alimento, acompañado de un cambio de estímulos que consistió en apagar la luz general y la colocada encima del orificio de la palanca y encender durante tres segundos la luz colocada encima del orificio por donde aparecía la cucharilla. Se consideró que el animal estaba entrenado cuando encontrándose lejos del orificio y al darse este cambio de estímulos, la rata se aproximaba rápidamente a recoger el alimento. Esta fase tomó entre 2 y 3 sesiones, con un

número máximo de reforzadores entregados por sesión de 46. En la siguiente sesión todos los sujetos iniciaron la fase de preentrenamiento.

Fase de preentrenamiento

Los sujetos fueron asignados aleatoriamente a uno de dos grupos de 15 ratas cada uno. Estos grupos difieren en el valor de IF a ser entrenado: 30-seg. o 90-seg. Una vez asignado el valor de IF, las ratas de cada grupo fueron asignadas aleatoriamente a cada una de las tres condiciones de preentrenamiento manipuladas: Grupo Reforzamiento Continuo, en el que cada respuesta producirá un reforzador (RF1), Grupo Intervalo Aleatorio en el que la probabilidad de que la respuesta sea reforzada transcurrido un cierto tiempo se mantiene constante (RI, por sus siglas en inglés), y Grupo Tiempo Fijo (TF), al que además se le impide el acceso al manipulando, al no estar presente. En este grupo el preentrenamiento se hizo con la palanca ausente para evitar la posibilidad de reforzamiento supersticioso o asociación entre respuesta operante y estado conductual debido al tipo de reforzamiento programado. En ningún momento del experimento se intentó el moldeo explícito de la respuesta de apretar la palanca. Detalles sobre la adquisición de la respuesta de los sujetos en las distintas condiciones se reportan en la página 25. Los valores de programa para los grupos TF y RI igualaron los valores de IF a experimentar en la siguiente fase. La condición se mantuvo durante 30 sesiones (véase Tabla 1.2).

| Grupo | Sujeto | Fase | | Grupo | Sujeto | Fase | |
|-----------|--------|------|----|-----------|--------|------|----|
| | | 1 | 2 | | | 1 | 2 |
| RF1-IF30 | LR-1 | 30 | 60 | RF1-IF90 | B-6 | 30 | 58 |
| | LR-2 | 30 | 60 | | B-7 | 30 | 58 |
| | LR-3 | 30 | 60 | | B-8 | 30 | 59 |
| | LR-4 | 30 | 60 | | B-9 | 30 | 52 |
| | LR-19 | 30 | 60 | | B-10 | 30 | 60 |
| TF30-IF30 | S-21 | 30 | 58 | TF90-IF90 | LR-11 | 30 | 58 |
| | S-22 | 30 | 59 | | LR-12 | 30 | 60 |
| | S-23 | 30 | 58 | | LR-15 | 30 | 59 |
| | S-24 | 30 | 56 | | LR-16 | 30 | 59 |
| | S-25 | 30 | 59 | | LR-17 | 28 | 60 |
| RI30-IF30 | LR-6 | 30 | 60 | RI90-IF90 | B-1 | 30 | 58 |
| | LR-7 | 30 | 60 | | B-2 | 30 | 59 |
| | LR-9 | 30 | 60 | | B-3 | 30 | 59 |
| | LR-10 | 30 | 60 | | B-4 | 30 | 54 |
| | LR-18 | 30 | 60 | | B-5 | 30 | 49 |

Tabla 1.2. Número de sesiones por sujeto para la condición de preentrenamiento (fase 1) y de intervalo fijo (fase 2).

Fase de reforzamiento en IF

Al terminar la condición de preentrenamiento, todos los animales fueron sometidos al programa IF correspondiente, por 60 sesiones. Todas las ratas en la condición RF1 respondieron desde la primera sesión. De igual manera, todas las ratas de la condición RI (excepto LR-6, que empezó a responder hasta la segunda sesión), respondieron desde un inicio. Sólo la rata LR-7 requirió de cinco sesiones para obtener la totalidad de sus reforzadores por sesión. El resto lo hizo en un máximo de dos sesiones. Dado que los sujetos en la condición TF no habían experimentado la contingencia respuesta-reforzador, al principio del entrenamiento en intervalo fijo las ratas S-21, S-23, S-24 y S-25, en la condición IF 30 seg., y las ratas LR-11 y LR-16 en IF 90 seg., respondieron muy poco o no respondieron. Los restantes sujetos respondieron desde la primera sesión y así se mantuvieron en las sesiones subsecuentes. Para aquellos animales que no emitieron respuestas o que respondieron muy infrecuentemente, se procedió a terminar la sesión por tiempo (45 minutos para los sujetos en IF 30 seg. y 90 minutos para los que recibieron el IF 90 seg.) y re-introducir las mismas condiciones al día siguiente. Así, todas las ratas empezaron a responder en la segunda o tercera sesión, consiguiendo la totalidad de los reforzadores programados para ésta y sesiones posteriores. Debido a errores de almacenamiento de información y problemas con el equipo, se perdieron los datos de algunas ratas (para detalles, véase Tabla 1.2). Cada sesión, incluyendo las de preentrenamiento, finalizó a la entrega del reforzador número 46.

Análisis de Datos

Se calcularon las tasas de respuesta en períodos de tiempo (bines) de 1/10 del valor del IF entrenado y las pausas pos reforzador promedio, sesión por sesión. Las pausas de los últimos cinco días de cada condición se sometieron a un ANOVA de medidas repetidas a fin de corroborar que todas las historias convergieron en el patrón de IF esperado en estado estable.

Se analizan distintos momentos de la adquisición, con énfasis en el inicio y el término del entrenamiento en IF. El análisis de los cambios durante la primera sesión permitirá corroborar los efectos del preentrenamiento sobre los valores iniciales de la tasa de respuesta y la cantidad de estados conductuales condicionados, predichos por LeT. El análisis de la parte terminal del entrenamiento permitirá verificar si, en ese punto del entrenamiento, las contingencias del programa de intervalo fijo han tomado control de la conducta de los animales, eliminando las diferencias iniciales.

Resultados

Desarrollo del Patrón de Respuesta

En la Figura 1.3 se muestran los promedios grupales de la tasa de respuesta promedio, calculada para cada uno de los 10 bines en los que se dividió el IRI, correspondientes a las primeras cinco sesiones en IF. Se observa que los cambios en la tasa de respuesta a través de las sesiones son graduales, pero en el sentido predicho: hay un decremento de la tasa en el segmento inicial del IRI, y un

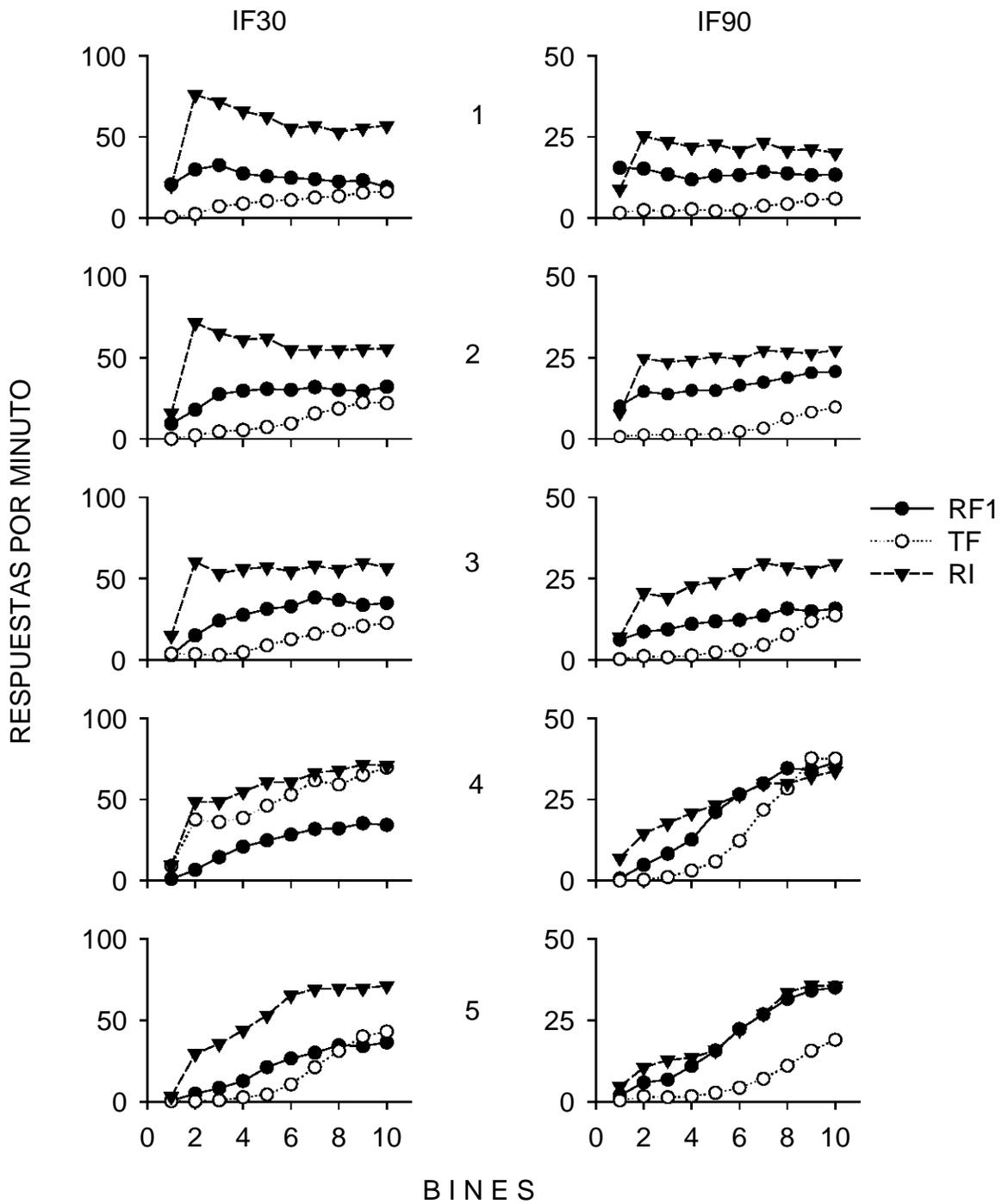


Fig. 1.3 Tasa de respuesta promedio en 1/10 sucesivos del intervalo, para las cinco primeras sesiones en IF 30 seg. (columna izquierda) y en el programa IF 90 seg. (columna derecha). Datos promediados por condición. Los números entre los gráficos indican la sesión.

aumento de la misma en el segmento terminal. El valor de las tasas de entrada depende del programa que antecedió a la introducción del IF.

En la Figura 1.4 se muestran esos mismos datos para las sesiones 1, 10, 40 y última, sujeto por sujeto, para el grupo RF1. La selección de éstas se hizo considerando que, para todos los sujetos, las mismas sesiones representan etapas distinguibles y características del desarrollo del control temporal. Las gráficas de la izquierda corresponden a los sujetos que recibieron un IF 30-seg. y las de la derecha a los que recibieron el IF 90-seg.

El patrón fue muy semejante de sujeto a sujeto (una excepción fue la rata B-8, condición RF1-IF 90 seg., que tardó mucho tiempo en aprender a responder y mostró un patrón anómalo, no comparable con el resto de los sujetos) e independiente del valor del IF entrenado. Se observa la rotación de las curvas a lo largo de las sesiones, en un punto entre la mitad y dos tercios del IRI, con una disminución de la tasa de respuesta en la parte inicial del intervalo acompañada de un aumento gradual de la misma en la parte final.

Durante la primera sesión, la tasa de respuesta empieza a un nivel bajo en la parte temprana del IRI, con tendencia a aumentar para después disminuir o mantenerse relativamente constante por el resto del intervalo. De la sesión 10 a la 40 se observa que la curva de la tasa de respuesta empieza a adquirir una forma sigmoidea. Para la última sesión, todos los sujetos muestran el patrón sigmoideo indicativo del control temporal que se desarrolló, a excepción de los sujetos LR-19

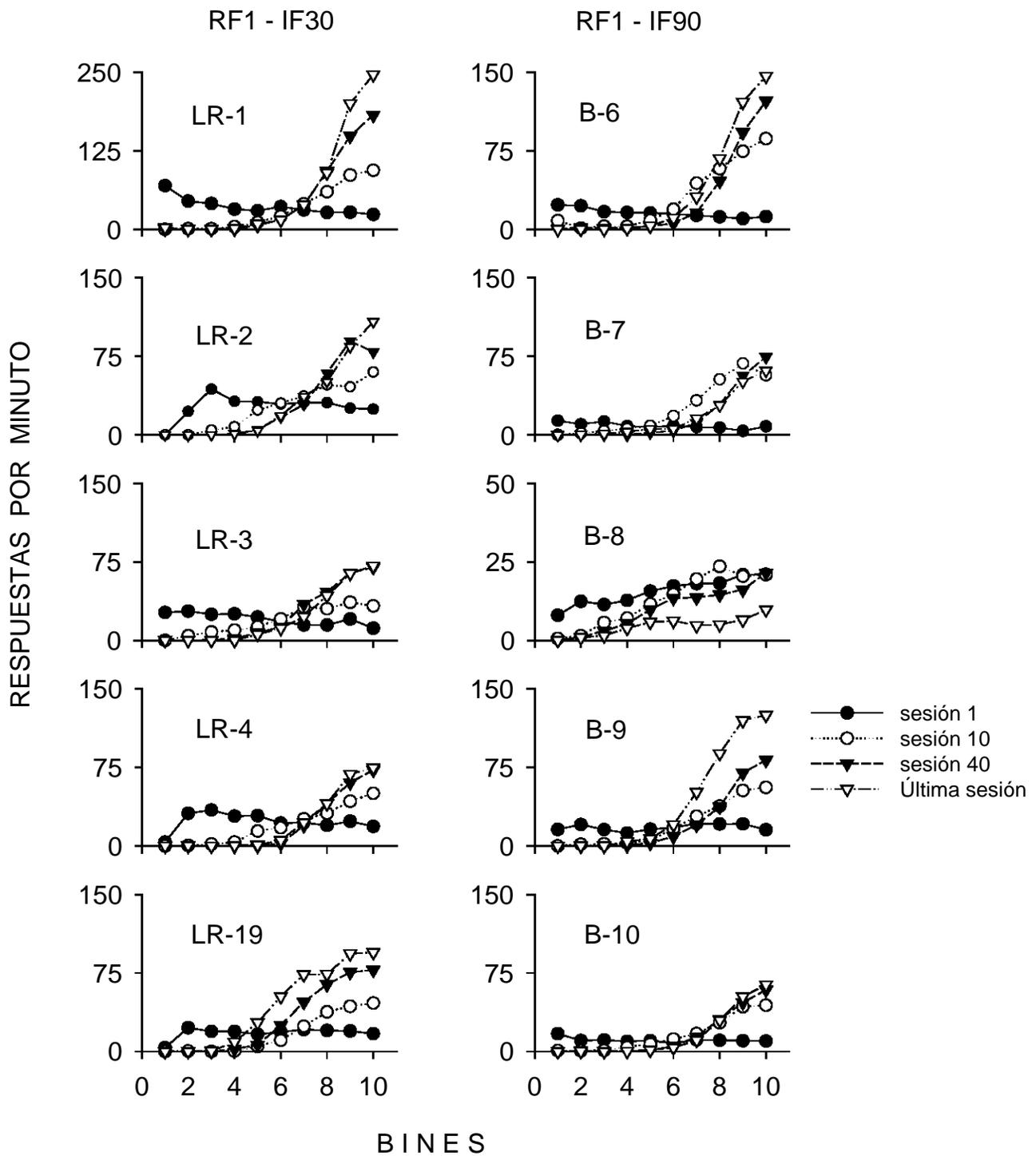


Figura 1.4 Tasa de respuesta promedio en 1/10 sucesivos del intervalo, para las ratas en el programa de preentrenamiento RF1, sesiones 1, 10, 40 y última, en el programa IF 30 seg. (columna izquierda) y en el programa IF 90 seg. (columna derecha).

de la condición RF1-IF30 seg., que en la última sesión muestra pérdida de control temporal y el ya mencionado B-8, en la condición RF1-IF90 seg. El punto sobre el que las curvas de respuesta van rotando, de la primera a la última sesión, durante el que la tasa no cambia apreciablemente y donde el patrón invertido cambia a sigmoideo, se situó entre los bins 6 y 8, indicando mejor control temporal de la rata que del pichón (punto situado cercano al bin 5, en el experimento de Machado y Cevik, 1998).

En la Figura 1.5 se muestran los mismos datos para los sujetos en la condición TF. La tasa de respuesta en la primera sesión empieza con valores muy bajos o cercanos a cero y tiende a aumentar ligeramente conforme avanza el intervalo. El aspecto más notable en estas gráficas es la ausencia de una curva invertida y de tasas de respuesta altas en la parte temprana del intervalo al inicio del entrenamiento. Esto resultó más marcado en los sujetos de la condición IF 90-seg. Esta peculiaridad de la ejecución no afectó a los aumentos graduales en la tasa de respuesta en el segmento terminal del IRI, observados a medida que transcurrieron las sesiones en IF. Dado esto, no resulta aplicable la localización de un único punto en el IRI en que la tasa de respuesta permanezca constante a lo largo de las sesiones y que en los otros grupos indicó el punto de rotación de las curvas. Por ello, se le sustituyó por el punto a partir del cual la tasa terminal empieza a divergir de manera más clara, aumentando progresivamente a medida que transcurre el intervalo, el cual se ubica en los bins 5 y 6.

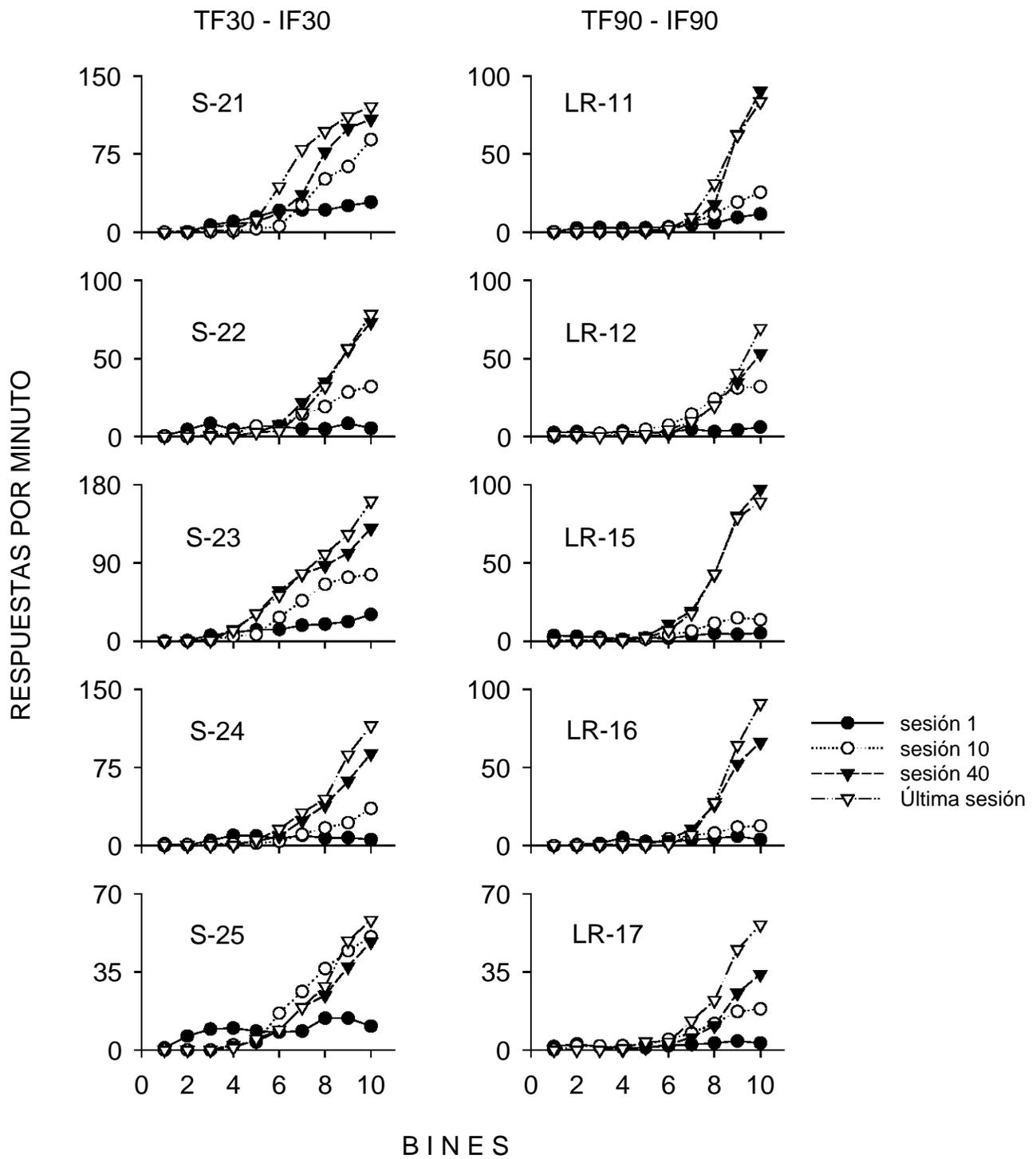


Fig. 1.5 Tasa de respuesta promedio en 1/10 sucesivos del intervalo, para las ratas en el programa de preentrenamiento TF, sesiones 1, 10, 40 y última, en el programa IF 30 seg. (columna izquierda) y en el programa IF 90 seg. (columna derecha).

La Figura 1.6 presenta los datos de tasa de respuesta para los sujetos en la condición Intervalo Aleatorio (RI). En la primera sesión la tasa de respuesta incrementa rápidamente (alrededor del bin 2) para después disminuir y mantenerse relativamente constante por el resto del intervalo.

En lo general, se puede observar que en el segmento inicial del intervalo, la tasa de respuesta declina rápidamente de la primera a la décima sesión y que en las sesiones subsiguientes prácticamente no hay cambios. Por el contrario, en el segmento terminal del intervalo, la tasa tiende a aumentar a lo largo de las sesiones. El punto de transición del primer al segundo segmento del intervalo varió de un sujeto a otro, localizándose, en general, entre el sexto y el octavo bins. Para la sesión 40, la mayoría de las curvas de tasa de respuesta han adquirido una forma sigmoidea.

En la Figura 1.7 se presentan los promedios por grupo (se eliminan los datos del sujeto B-8, condición RF1-IF90 seg.). En ella se pueden observar con mayor claridad las diferencias en la adquisición del control temporal, dependientes de la historia previa. En la sesión uno, los grupos con preentrenamiento contingente tendieron a mostrar una tasa de respuesta decreciente, conforme aumentaba el tiempo en el intervalo. Asimismo, en varios grupos puede observarse un incremento en la tasa de respuesta del primer al segundo bin temporal. En cambio, en los grupos en la condición TF previo, existió una ligera tendencia a mostrar incrementos en la tasa de respuesta conforme aumentaba el tiempo en el

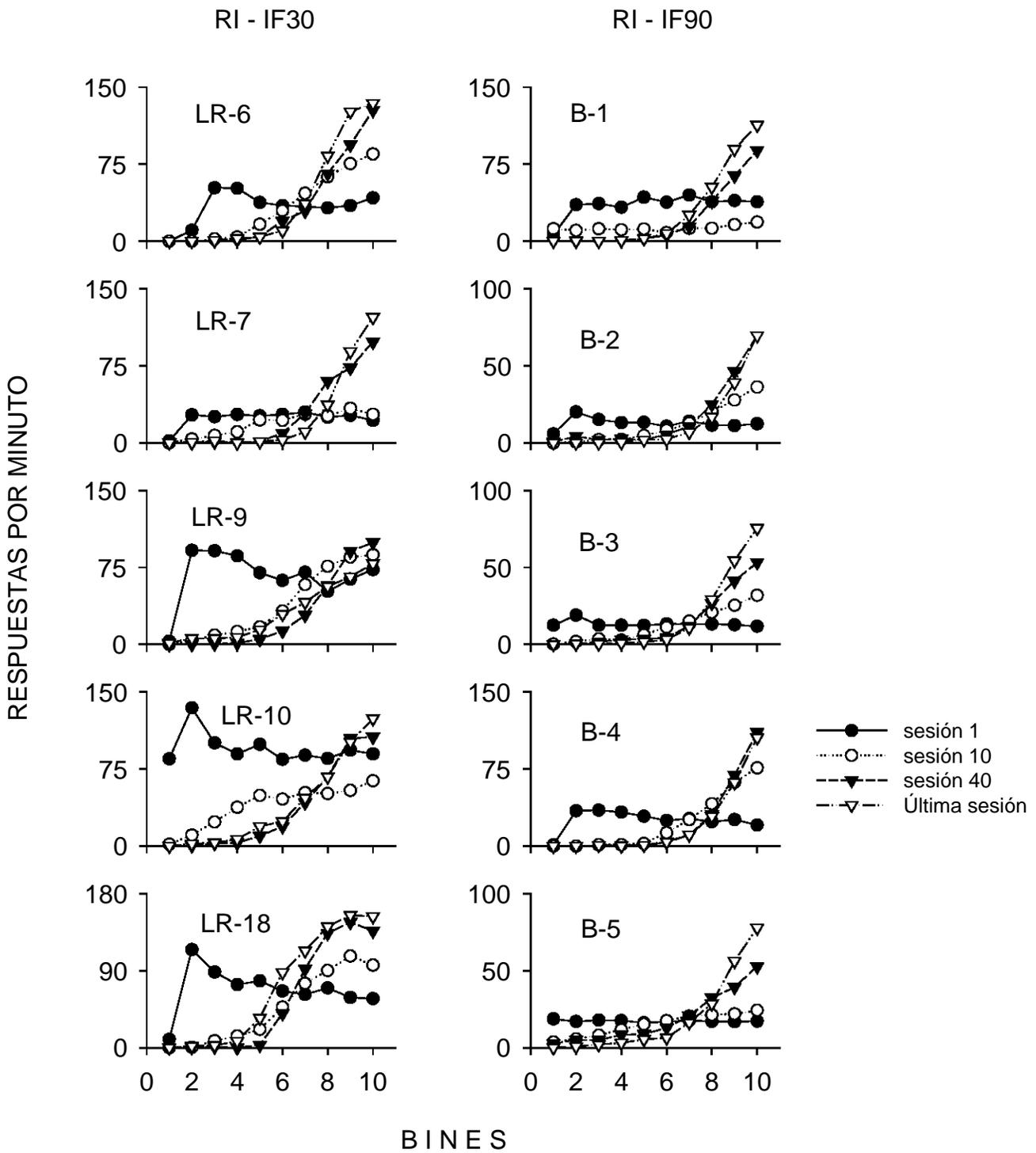


Fig. 1.6 Tasa de respuesta promedio en 1/10 sucesivos del intervalo, para las ratas en el programa de preentrenamiento RI, sesiones 1, 10, 40 y última, en el programa IF 30 seg. (columna izquierda) y en el programa IF 90 seg. (columna derecha).

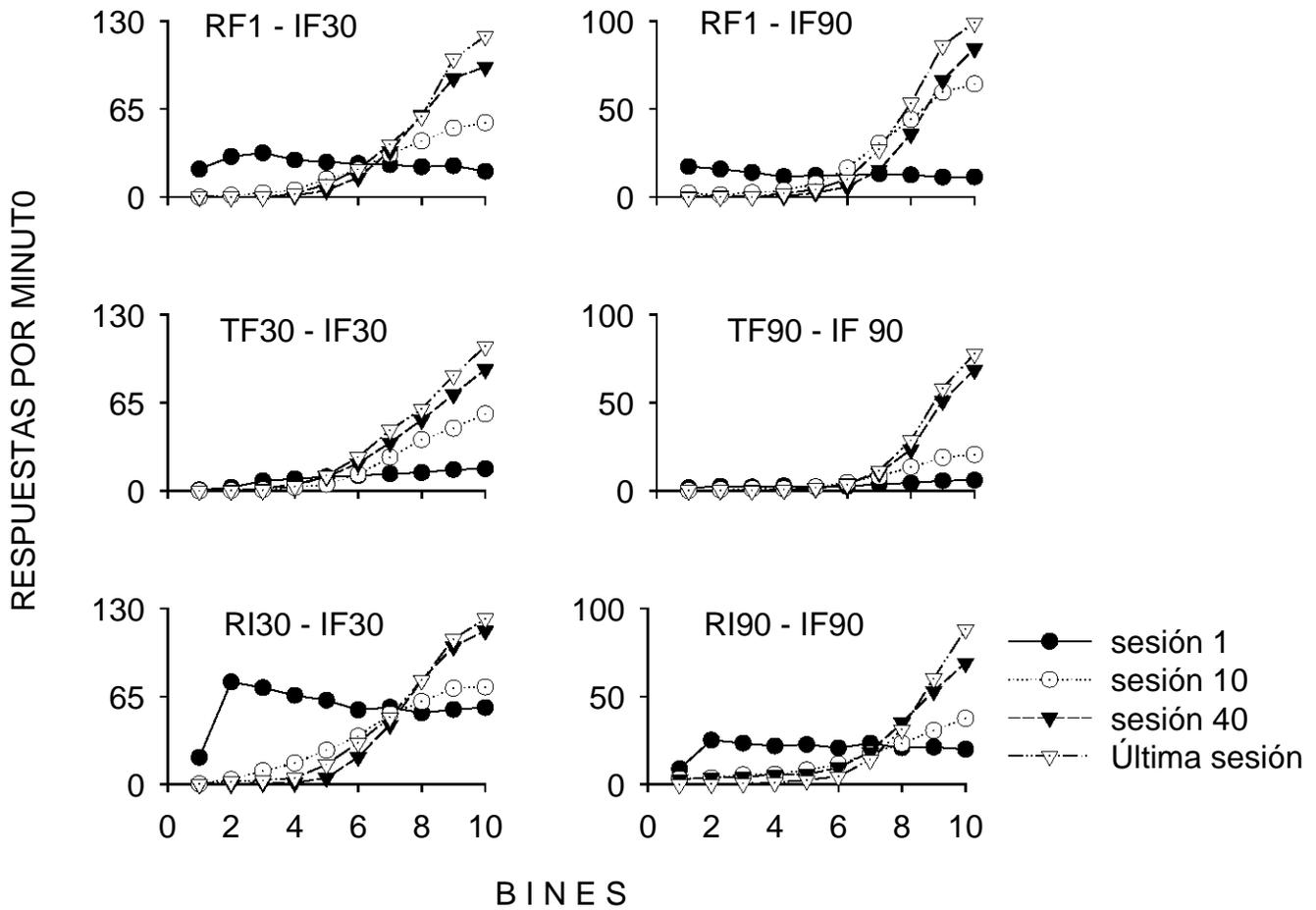


Fig. 1.7 Tasa de respuesta promedio grupal en 1/10 sucesivos del intervalo, para las ratas en los programas de preentrenamiento RF1, TF y RI, sesiones 1, 10, 40 y última, en el programa IF 30 seg., (columna izquierda) y en el programa IF 90 seg., (columna derecha).

intervalo, siendo más clara en el grupo sometido a IF30 seg. que en el grupo sometido a IF 90 seg. Los cambios en las curvas de tasa de respuesta conforme progresaban las sesiones fueron diferentes para los grupos con entrenamiento contingente y no contingente previo, sobre todo durante la primera mitad del intervalo. En los grupos con preentrenamiento en RF1 y RI, la tasa de respuesta declina rápidamente durante este segmento del intervalo, al grado de que prácticamente no existen diferencias en el nivel alcanzado a partir de la sesión 10. En dicha sesión, todos los grupos muestran una tasa de respuesta cercana a cero en los primeros cinco bins. En los grupos con preentrenamiento en TF, la tasa de

respuesta fue muy cercana a cero, o cero, desde la primera sesión y no sufrió cambios en las siguientes sesiones. Los patrones de respuesta resultaron muy similares en todos los grupos en la última sesión: tasas bajas o cero en los primeros bins temporales, seguido por una tendencia a crecer positivamente conforme progresa el intervalo. No obstante, puede observarse cierta desaceleración al pasar del noveno al décimo bin en los grupos RF1-IF30, RF1-IF90, RI30-IF30. Por lo general, los grupos sometidos al programa IF 30 seg. llegaron a alcanzar tasas de respuesta más altas en los últimos bins que los grupos sometidos al programa IF 90 seg.

Las ejecuciones en cada tipo de historia fueron semejantes en cuanto a la forma de la curva que describe la ejecución final en el IF y a la regularidad de los cambios en la tasa de respuesta en la segunda porción del intervalo entre reforzadores. En la ejecución en estado estable, para todos los grupos, resultaron reconocibles los dos estados ampliamente reportados en la investigación con programas de intervalo fijo: el correspondiente a la pausa y el relacionado con el incremento relativamente constante de la tasa de respuesta promedio, hasta la entrega del reforzador (Schneider, 1969). En la segunda mitad del intervalo, se observó una similitud en los cambios de la tasa de respuesta a partir de la décima sesión. En todos los grupos se observa que la tasa de respuesta tiende a crecer conforme incrementa el tiempo en el intervalo. Esta tendencia es cada vez mayor conforme progresan las sesiones.

Pausas pos reforzador

En las Figuras 1.8, 1.9 y 1.10 se presentan los datos de pausa pos reforzador promedio, sesión por sesión y sujeto por sujeto, para los grupos con preentrenamiento en RF1, TF y RI. A la izquierda se presentan los sujetos de la condición IF 30-seg. y a la derecha los de IF 90-seg. La pausa pos reforzador proporcionó indicios del progreso del control temporal, complementarios al comportamiento de la tasa de respuesta.

En la condición RF1 (Figura 1.8), la pausa pos reforzador promedio durante las primeras sesiones de introducción del programa IF, tiende a ser pequeña, de valor cercano a cero, y crece conforme transcurre el experimento. En el caso del grupo RF1-IF 30-seg., el valor promedio empieza a estabilizarse hacia la sesión 15 alrededor de los 20 segundos, para todos los sujetos. En el grupo RF1-IF 90-seg. también se observa este patrón de rápido aumento en el valor de la pausa promedio, aunque no se estabiliza tan velozmente como en el grupo de IF 30-seg.; para la sesión 15, la PPR apenas empieza a estabilizarse. Hay mayor variabilidad y su duración oscila entre 40 y 63 segundos.

Para los sujetos en la condición de Tiempo Fijo (Figura 1.9), la pausa promedio es grande desde la primera sesión, semejante a la alcanzada en estado estable. En la condición IF 30-seg. está cercana o por debajo de los veinticinco segundos, notándose una ligera tendencia a disminuir conforme avanzan las sesiones. Lo mismo ocurre con el grupo IF 90-seg. En la primera sesión, la PPR es grande; en algunos sujetos muy semejante al valor de estado estable (LR-11 y 16), y en otros

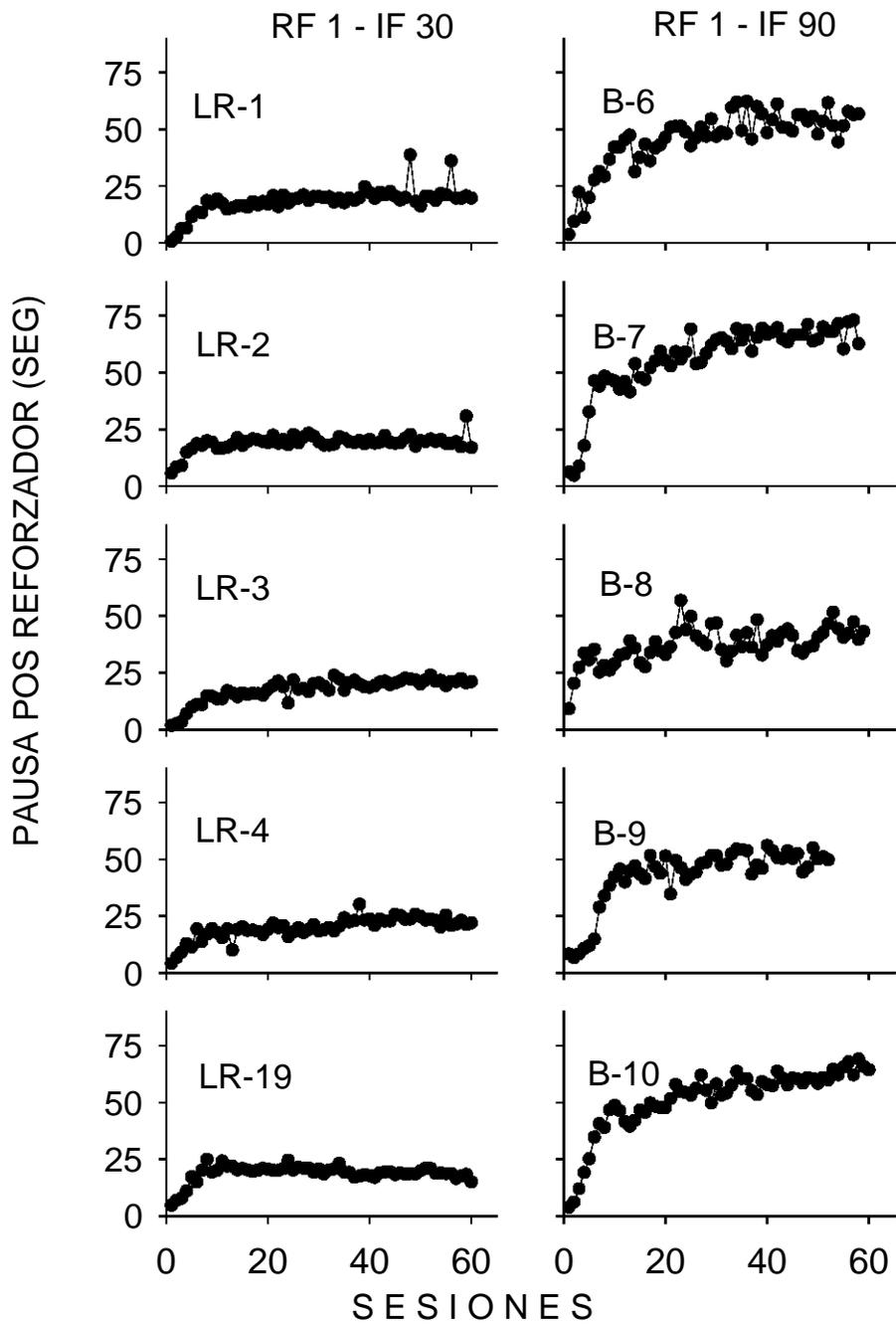


Fig. 1.8 Pausa pos reforzador promedio, en sesiones consecutivas, en los programas IF 30 seg. (columna derecha) e IF 90 seg. (columna izquierda), para los sujetos en RF1.

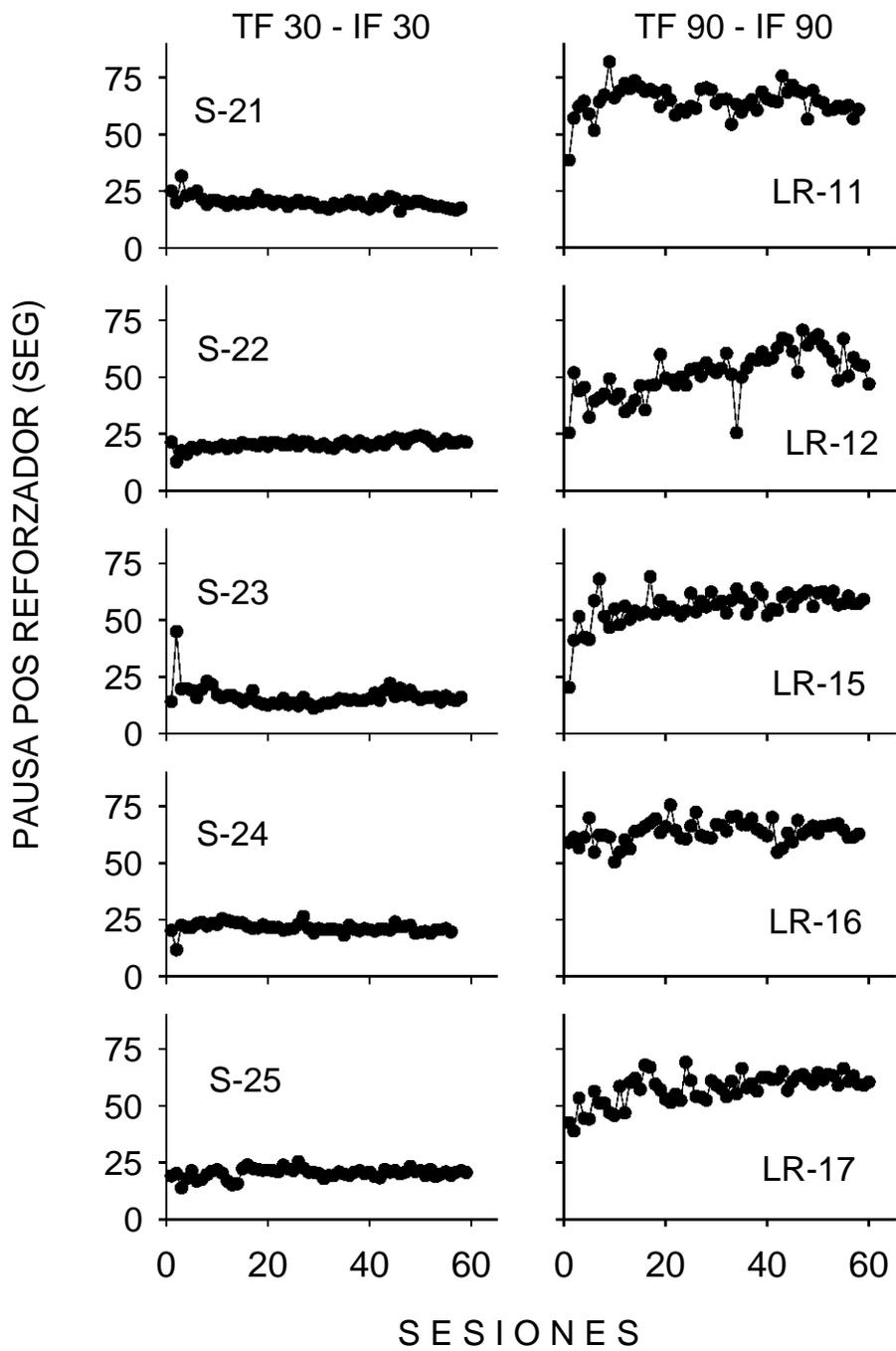


Fig. 1.9 Pausa pos reforzador promedio, en sesiones consecutivas, en los programas IF 30 seg. (columna derecha) e IF 90 seg. (columna izquierda), para los sujetos en TF.

inicia en un valor por encima de los 25 seg., el cual va aumentando conforme transcurren las sesiones, para estabilizarse en 60 o 65 seg. En esta condición se observa mayor variabilidad sesión a sesión que en la condición de IF 30 seg.

Para los grupos en Intervalo Aleatorio (Figura 1.10) se obtuvieron, desde el inicio, valores de la pausa mayores de cero. Para la condición IF 30-seg., el patrón de pausa promedio, general, fue moderadamente creciente, estabilizándose alrededor de la sesión quince, por debajo de los 25 seg. Para el grupo IF 90-seg., se observa que, en la mayoría de los sujetos, la pausa promedio aumenta rápidamente en las primeras diez sesiones, para posteriormente estabilizarse en un valor cercano a los 60 seg.

En la Figura 1.11 se presentan las pausas promedios por grupo, eliminando los datos anómalos del sujeto B-8 (RF1-IF90 seg.). En términos generales, las ejecuciones entre los programas contingentes y no contingentes difieren en la parte inicial del entrenamiento. Los sujetos con historia en RF1 y RI tienden a emitir pausas breves, que van aumentando progresivamente a medida que transcurre el experimento. En los grupos con historia en TF también se observa un aumento gradual en el valor de la pausa, pero es rápidamente sustituido por la emisión de pausas promedio largas, que varían muy poco a lo largo del entrenamiento. No obstante, las PPR de todos los grupos terminan estabilizándose en un valor cercano a los dos tercios del IF entrenado. El valor de la pausa promedio de los grupos en IF 90 seg. fue aproximadamente el triple del

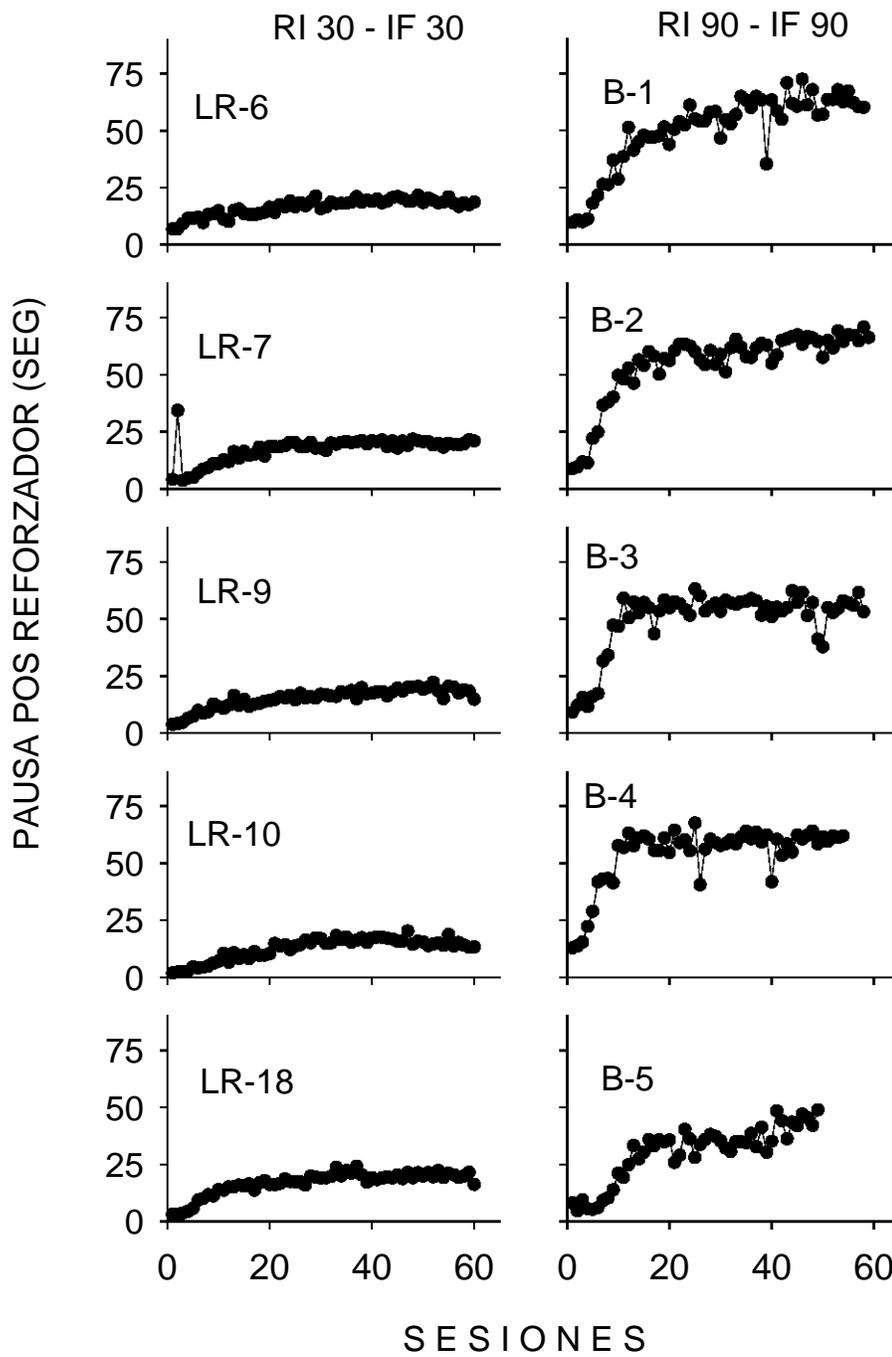


Fig. 1.10 Pausa pos reforzador promedio, en sesiones consecutivas, en los programas IF 30 seg. (columna derecha) e IF 90 seg. (columna izquierda), para los sujetos en RI.

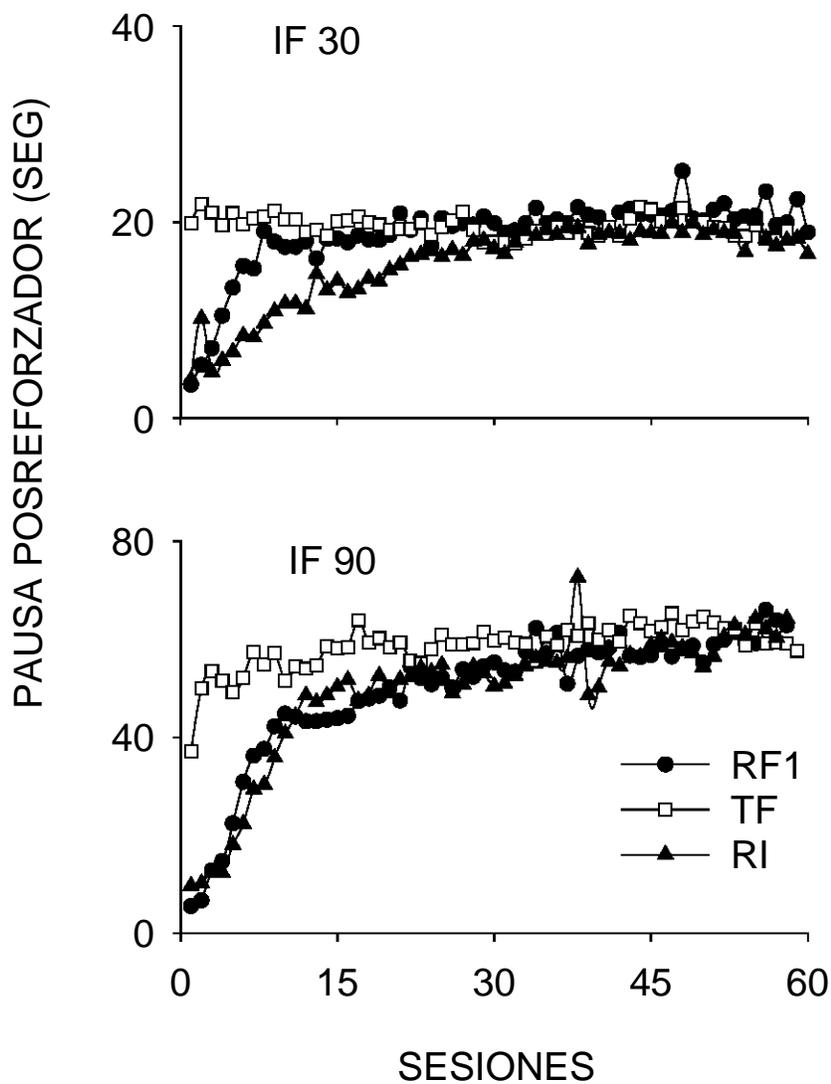


Fig. 1.11 Pausa pos reforzador promedio grupal, en sesiones consecutivas en el programa IF 30 seg. (gráfica superior) y en el programa IF 90 seg. (gráfica inferior) para los sujetos en RF1-IF (círculos llenos), TF-IF (cuadrados vacíos) y RI-IF (triángulos llenos).

valor de la pausa promedio de los grupos en IF 30 seg., además de que su variabilidad también fue superior (Tabla 1.3).

| Grupo | N | M(s) | SD | CV |
|-----------|---|-------|------|------|
| RF1-IF30 | 5 | 20.44 | 2.37 | 0.12 |
| TF30-IF30 | 5 | 18.92 | 2.60 | 0.14 |
| RI30-IF30 | 5 | 17.83 | 2.45 | 0.14 |
| RF1-IF90 | 4 | 59.42 | 8.81 | 0.15 |
| TF90-IF90 | 5 | 59.25 | 3.80 | 0.06 |
| RI90-IF90 | 5 | 58.65 | 8.41 | 0.14 |

Tabla 1.3. Media, desviación estándar y coeficiente de variación de la pausa pos-reforzador promedio, para las últimas cinco sesiones de cada grupo.

Como ya se mencionó, a fin de descartar diferencias atribuibles al preentrenamiento, se realizó un ANOVA de medidas repetidas con las PPR de las últimas cinco sesiones de cada sujeto (transformadas logarítmicamente), utilizando sesión como factor Intra y valor del IF y preentrenamiento como factores Entre. Únicamente el efecto principal de IF resultó significativo ($F(1,23)=535.26$, $p<.01$).

Adicionalmente, se observó que para cada historia de reforzamiento el coeficiente de variación se mantuvo relativamente constante para los dos valores de IF programados (excepto la condición TF90-IF90, con una precisión relativa muy pequeña), mostrando concordancia con la ley de Weber y la propiedad escalar (Tabla 1.3).

Experimento 1b. Efectos del preentrenamiento con programas de entrega no contingente de reforzadores sobre el curso del aprendizaje temporal.

En el Experimento 1a se encontró que, al parecer, la entrega periódica de reforzadores no contingentes (preentrenamiento en programas TF), facilitó la adquisición de control temporal sobre la respuesta de apretar la palanca. Esta facilitación puede deberse a que el programa TF efectivamente produjo aprendizaje temporal y es éste el que, al introducir el programa IF, facilita el desarrollo del control temporal sobre la conducta instrumental. O a que el programa TF produjo una probabilidad de respuesta baja, de manera que al introducir el intervalo fijo, esta baja probabilidad de responder favorece que los estados terminales desarrollen un mayor grado de fuerza asociativa con la operante, acelerando el control temporal de la respuesta instrumental.

Para evaluar estas posibilidades, en el Experimento 1b se comparan los programas TF y TV. Se parte de la suposición de que ambos generan una baja probabilidad de respuesta, pero sólo el TF proporciona condiciones de aprendizaje temporal. Si la ejecución en el programa periódico, posterior al preentrenamiento en estos dos programas, muestra la misma trayectoria, se puede suponer que la facilitación estuvo mediada por la probabilidad de respuesta de entrada al programa de intervalo fijo; si las trayectorias difieren y solamente se observa facilitación con TF, se puede suponer que existió aprendizaje temporal durante el preentrenamiento.

Adicionalmente, se agregó una condición de entrada directa al IF, con la finalidad de determinar si el entrenamiento extendido en TF o TV, efectivamente produjo la baja probabilidad de respuesta. Se comparó el nivel de respuesta bajo estos programas con el nivel obtenido por el grupo sin historia: si la entrega no contingente, extendida, de reforzadores reduce la probabilidad de respuesta, su nivel diferirá del nivel del grupo de ratas sin historia; de lo contrario, las tasas serán semejantes y la explicación de facilitación por la baja probabilidad de respuesta resultaría cuestionable.

Método

Sujetos

Los sujetos fueron 26 ratas albinas macho, Wistar, inexpertas. 20 ratas tenían aproximadamente cuatro meses de edad al inicio del experimento y las seis restantes, seis meses. Su manejo fue idéntico al descrito en el Experimento 1a.

Aparatos

Se utilizaron seis cajas de condicionamiento operante, de dimensiones 21.0 cm de altura x 30.5 cm de largo x 24.1 cm de ancho, marca MED-Associates, provistas de un dispensador de alimento, una palanca retráctil y un ventilador. En la pared frontal de cada caja se localizaron, a 6 cm del piso de rejilla y 1 cm del borde izquierdo de la pared, la palanca izquierda, y 7 cm sobre ésta, una luz indicadora. El receptáculo de alimento estaba ubicado en la parte central de la pared, a 5 cm de la rejilla sobre la que se posaba el animal, conectado al dispensador por medio de una manguera de plástico flexible. Dos centímetros encima del comedero se

colocó otra luz indicadora. Una luz más, situada en la parte superior central de la pared trasera de la caja, proporcionó la iluminación general. El reforzador consistió en una píldora de alimento de 45 mg., marca Noyes. Las cajas estuvieron colocadas dentro de cubículos a prueba de luz y ruido, marca MED.

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

Fase de entrenamiento manual a comedero

Veinte sujetos fueron entrenados manualmente a reconocer el comedero. Al inicio de la sesión se encendía la luz general y una luz situada encima de la abertura por la que aparecería la palanca retráctil en la fase de presentación del intervalo fijo. Cada vez que el animal se acercaba a olisquear el comedero, se le entregaba alimento, acompañado de un cambio de estímulos que consistió en apagar la luz general y la colocada encima del orificio de la palanca retráctil y encender durante tres segundos la luz colocada encima del receptáculo de alimento. Se consideró que el animal estaba entrenado cuando encontrándose lejos del receptáculo de comida, al darse este cambio de estímulos, la rata se aproximaba rápidamente a recoger el alimento. Esta fase tomó entre 2 y 3 sesiones, con un número máximo de reforzadores entregados por sesión de 46. Dieciséis de las 20 ratas aprendieron en dos sesiones y cuatro requirieron de una sesión adicional. En la siguiente sesión todos los sujetos iniciaron la fase de preentrenamiento.

Condición de entrada Directa a IF. Entrenamiento a comedero.

Los sujetos de este grupo recibieron tres sesiones bajo un programa TV 6 seg. (para igualar el tiempo promedio entre la entrega de reforzadores bajo un programa de reforzamiento continuo), sin la palanca presente, con condiciones estímulo idénticas a las de las otras ratas. Al finalizar este entrenamiento, los animales se dirigieron al comedero de manera confiable en el momento en que ocurrían los estímulos asociados al reforzador y se les pasó a la siguiente fase.

Fase de preentrenamiento

Los sujetos fueron asignados aleatoriamente a uno de dos grupos de 10 ratas cada uno. Estos grupos difirieron en el valor de IF a ser entrenado: 30-seg. o 90-seg. Una vez determinado el IF, las ratas fueron re-asignadas aleatoriamente a una de las dos condiciones de preentrenamiento manipuladas: Grupo Tiempo Fijo (TF) y Grupo Tiempo Variable (TV). La palanca estuvo ausente durante esta fase, que se mantuvo vigente por 45 sesiones. En cada sesión se entregó un total de 46 reforzadores. Para la condición de entrada directa al IF, se formaron dos grupos de tres ratas cada uno. Cada animal fue asignado aleatoriamente a la condición de IF 30 seg. o IF 90 seg. En la Tabla 2.1 se presenta el número de sesiones por sujeto para todas las condiciones de este experimento. Se eliminaron dos sujetos de las condiciones TF 30 y TV 30, y un sujeto de las condiciones TF 90 y TV 90, debido a que tardaron muchas sesiones en emitir la respuesta de palanqueo y sus datos iniciales resultaron atípicos.

| Grupo | Fase | | Grupo | Fase | |
|-----------|--------|-------|------------|--------|-------|
| | Sujeto | 1 2 | | Sujeto | 1 2 |
| TF30-FI30 | S-16 | 45 60 | TF90 -IF90 | S-6 | 45 60 |
| | S-18 | 45 60 | | S-7 | 45 60 |
| | S-20 | 45 60 | | S-9 | 45 60 |
| | | | | S-10 | 45 60 |
| TV30-IF30 | S-11 | 45 60 | TV90-IF90 | S-1 | 45 60 |
| | S-14 | 45 60 | | S-2 | 45 60 |
| | S-15 | 45 60 | | S-3 | 45 60 |
| | | | | S-4 | 45 60 |
| IF30 | S-4B | 60 | IF90 | S-7B | 60 |
| | S-5B | 60 | | S-23 | 60 |
| | S-6B | 60 | | S-24 | 60 |

Tabla 2.1. Número de sesiones por sujeto para la condición de preentrenamiento no contingente (fase 1) y de intervalo fijo (fase 2), del Experimento 1b. Se agregan los sujetos de la condición de no historia (Directo).

Fase de reforzamiento en IF (Todos los sujetos)

Al terminar la condición de preentrenamiento (o entrenamiento a comedero), todos los animales fueron sometidos al programa IF correspondiente, con la programación de estímulos semejante a la de la condición previa, excepto por el hecho de añadir el requisito de respuesta y por ende, la introducción de la palanca en la caja. Al presentar por primera vez el programa IF no se intentó el moldeo

explícito de la respuesta de apretar la palanca. El IF estuvo vigente por 60 sesiones. Cada sesión finalizó a la entrega del reforzador número 46.

Análisis de Datos. Igual que en el Experimento 1a.

Resultados

Desarrollo del Patrón de Respuesta

Como en el Experimento 1a, se analiza la tasa de respuesta promedio, en las sesiones 1, 10, 40 y última, calculada para cada uno de diez bins en que se dividió el IF, sujeto por sujeto.

En la Figura 2.1 se muestran los sujetos de la condición TF, las gráficas de la izquierda corresponden a los sujetos de la condición TF30-IF30 y las de la derecha a los de la condición TF90-IF90. Se grafican los cambios en la tasa de respuesta de sesiones seleccionadas de la primera a la última.

En la condición de TF30-IF30, el sujeto 16 reprodujo el patrón observado en la condición TF del Experimento 1a, mientras que los sujetos 18 y 20 mostraron patrones que indicaron control temporal, pero debido a una disminución de la respuesta a medida que transcurrió el entrenamiento en IF, no se observaron los cambios ordenados de la tasa de respuesta en el segmento terminal, obtenidos en el experimento 1a.

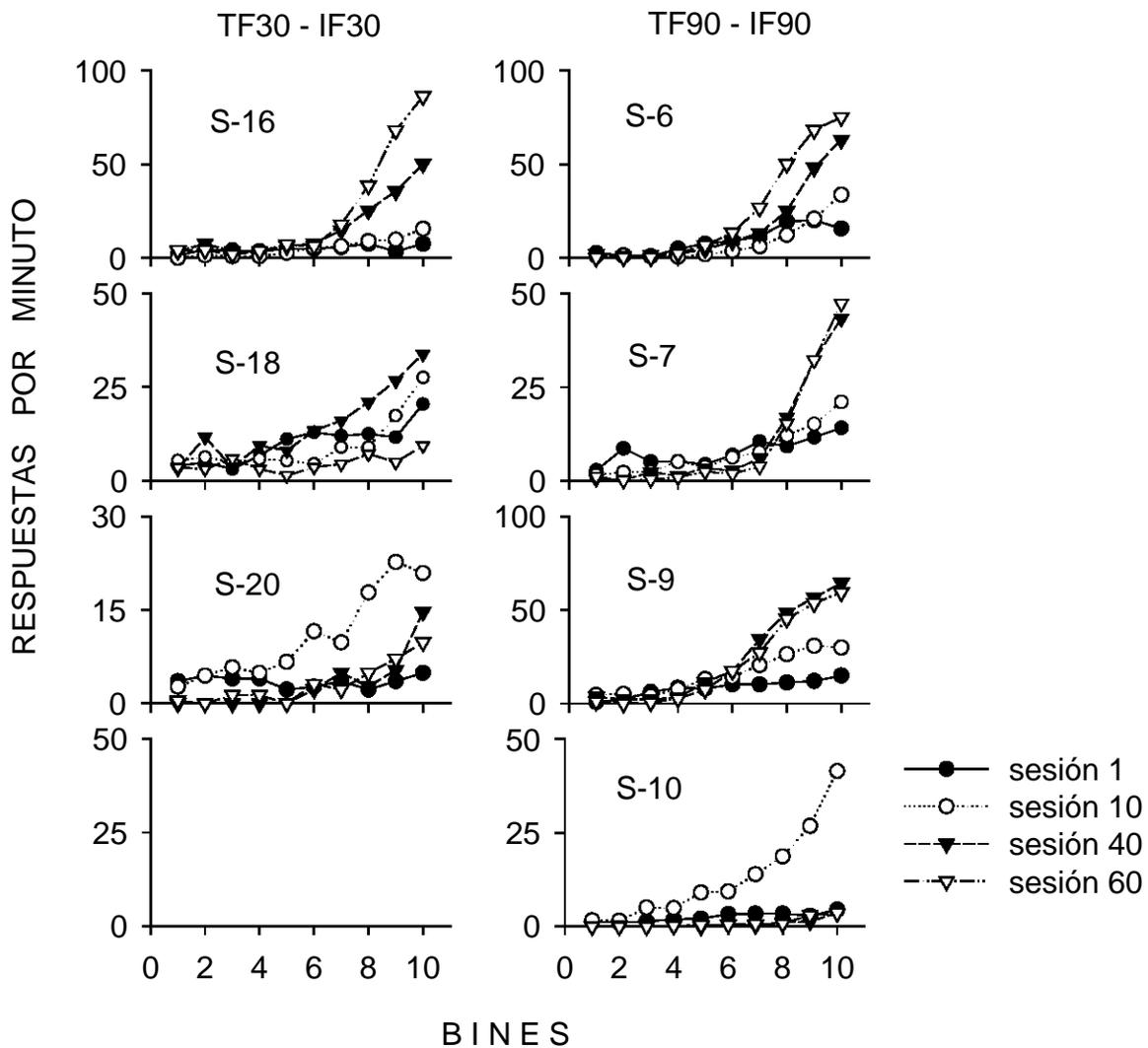


Fig. 2.1 Tasa de respuesta promedio en 1/10 sucesivos del intervalo, para las ratas en el programa de preentrenamiento TF, sesiones 1, 10, 40 y última, en el programa IF 30 seg. (columna izquierda) y en el programa IF 90 seg. (columna derecha).

Algo semejante ocurrió con los sujetos de la condición TF90-IF90. Las ratas 6 y 7 respondieron con una tasa de respuesta muy baja en el segmento inicial del intervalo que cambió, en un punto más o menos constante del IRI, a una tasa de respuesta más elevada y progresivamente creciente, como ocurrió con el TF del

Experimento 1a. Pero el sujeto 10 muestra una disminución de la respuesta en las sesiones 40 y 60 (observada también en la condición TF 30 seg. de este experimento): a pesar de mostrar indicios de control temporal en las sesiones previas, el patrón de la tasa de respuesta en la porción terminal del intervalo no se ajusta al comportamiento esperado. Por su parte, el sujeto 9, mostró una ejecución acorde con la condición de TF que experimentó, hasta la sesión 40 en que muestra una inversión del nivel de respuesta en el último bin.

En resumen, en tres de los siete sujetos de la condición de TF (dos de la condición de TF90-IF90 seg. y uno de la condición TF30-IF30 seg.), se obtuvo la réplica del patrón de resultados del Experimento 1a, esto es, la desaparición, prácticamente desde la primera sesión, de la tasa de respuesta elevada durante el primer segmento del intervalo, acompañada de cambios graduales y crecientes de la misma durante el segmento terminal del IRI a medida que transcurren las sesiones. Las ratas restantes mostraron las principales características de la primera etapa de adquisición, pero hacia el final del entrenamiento en IF, la tasa de respuesta cayó, alterando el patrón ordenado ya referido.

Para el caso de los siete sujetos en la condición de Tiempo Variable (TV 30 seg. y TV 90 seg., Figura 2.2), en poco más de la mitad de los casos (sujeto 11 de la condición TV 30s-IF 30s y sujetos 2, 3 y 4 de la condición TV 90s-IF 90s), el patrón fue semejante al mostrado por los sujetos en la condición TF del Experimento 1a. Para el resto de los sujetos se observó una trayectoria semejante

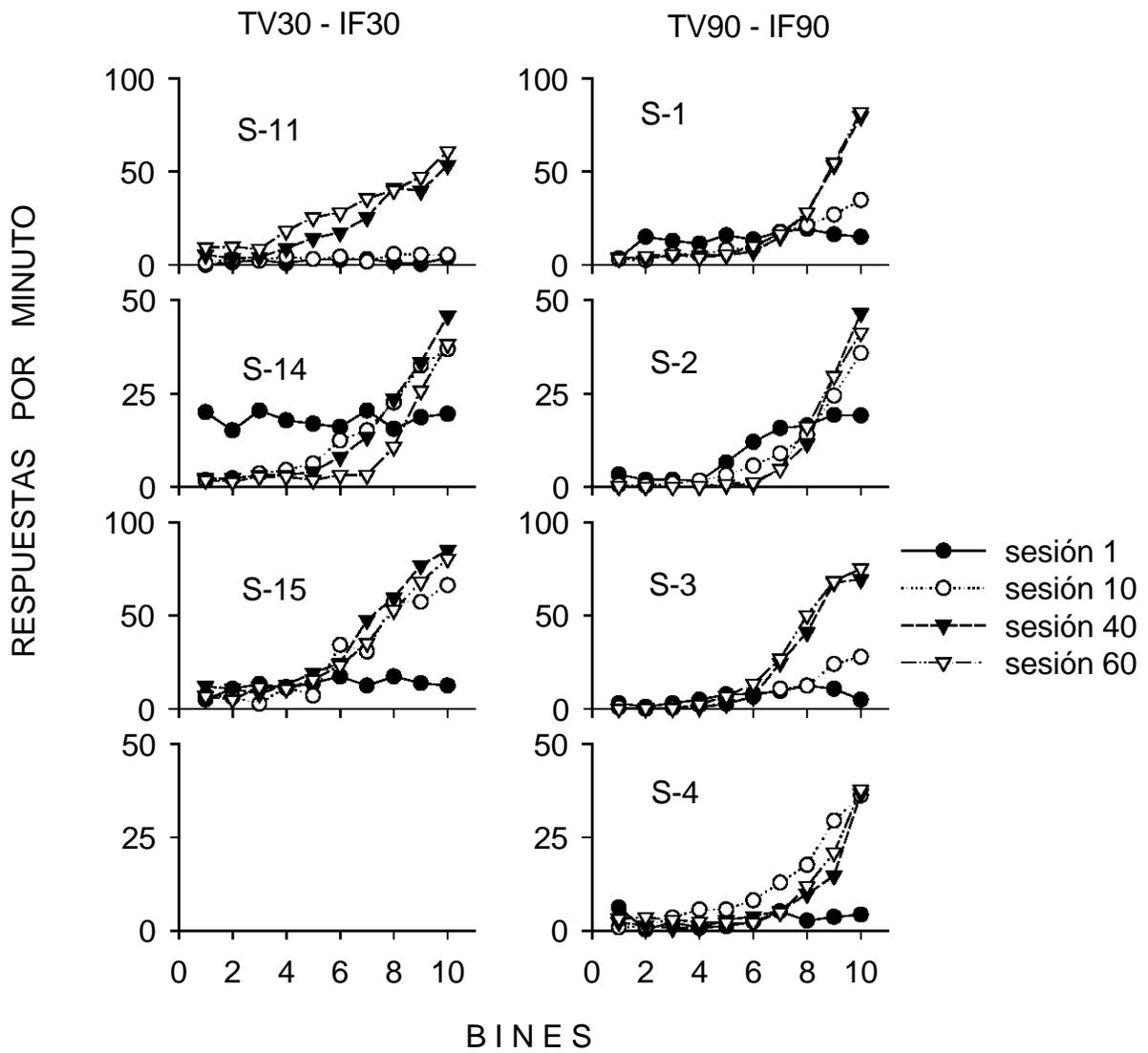


Fig. 2.2 Tasa de respuesta promedio en 1/10 sucesivos del intervalo, para las ratas en el programa de preentrenamiento TV, sesiones 1, 10, 40 y 60, en el programa IF 30 seg. (columna izquierda) e IF 90 seg. (columna derecha).

a la de la condición RF1, con una tasa de respuesta más bien elevada que se mantuvo constante a lo largo de todo el intervalo, durante la primera sesión. No se observaron diferencias en las tasas de respuesta entre los dos valores de IF (30 y 90 seg.), aunque resultaron inferiores a las de los sujetos de la condición de TF del Experimento 1a.

En la Figura 2.3 se muestran los datos de tasa de respuesta para los sujetos en la condición de entrada directa al programa de Intervalo Fijo. Para ambos grupos y durante la primera sesión, se observa un patrón de respuesta semejante al de los sujetos que recibieron una historia de reforzamiento continuo, con una tasa de respuesta más baja en el IF 90 seg. La trayectoria hasta alcanzar el estado estable no fue similar a la de los animales que experimentaron una historia de reforzamiento antes del programa de IF. En particular, durante las sesiones intermedias, no se observa el incremento progresivo de la tasa de respuesta en el segmento terminal del IRI, como en el caso de los sujetos con historia. Además, en algunos sujetos la tasa de respuesta en el segmento terminal en las sesiones intermedias supera a la observada en la última sesión. Finalmente, se observa que, en la mayoría de los sujetos, el estado estable converge en el patrón típico de intervalo fijo, aunque con tasas de respuesta inferiores a las observadas para los sujetos con historia.

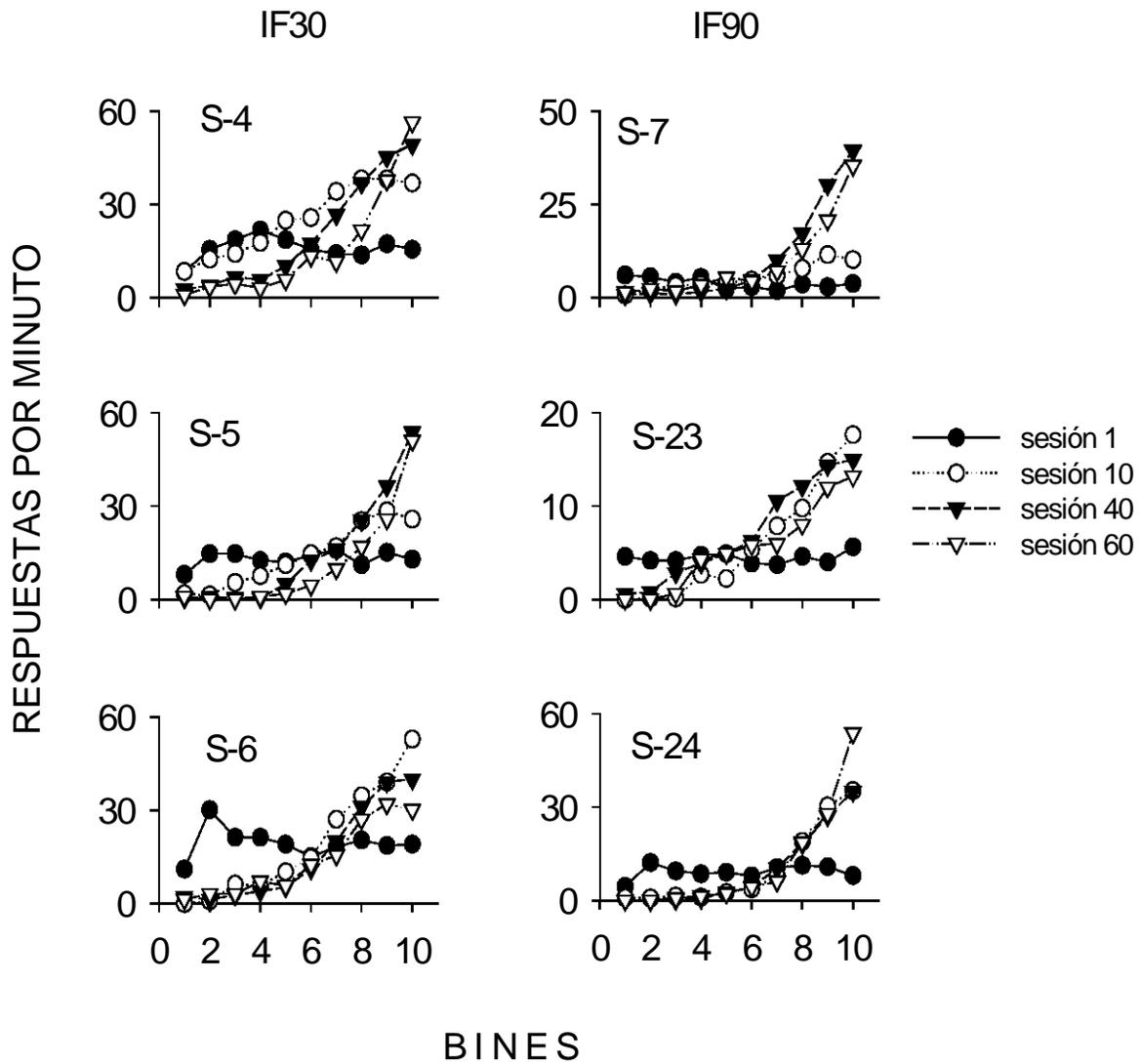


Fig. 2.3 Tasa de respuesta promedio en 1/10 sucesivos del intervalo, para las ratas con entrada directa al IF, sesiones 1, 10, 40 y 60, en el programa IF 30 seg. (columna izquierda) y en el programa IF 90 seg. (columna derecha).

Pausas pos reforzador

En las Figuras 2.4 y 2.5 se presentan los datos correspondientes a la pausa pos reforzador promedio, sesión a sesión, de las condiciones de TF y TV, respectivamente. En la columna de la derecha se localizan los datos correspondientes a las condiciones de IF 90 seg. y en la izquierda las de IF 30 seg.

En la Figura 2.4 se puede observar que los valores de PPR para el sujeto 16, desde las primeras sesiones, oscilaron alrededor del valor alcanzado en estado estable. Las pausas del sujeto S-20, por el contrario, fueron aumentando a medida que transcurrieron las sesiones, hasta alcanzar valores mayores a los del IF programado. Esto ocurrió porque este sujeto emitió una sola respuesta en las sesiones finales del entrenamiento bajo intervalo fijo. La ejecución del sujeto 18 también sufrió cambios a lo largo de las sesiones, consistiendo, principalmente, en la disminución del número de respuestas y de la tasa de respuesta, lo que se reflejó en un patrón de la pausa en forma de u invertida, durante las primeras 15 sesiones del entrenamiento.

La PPR para los grupos en IF 30 es inferior a la de los grupos en IF 90 s., con más variabilidad en los datos de esta última condición.

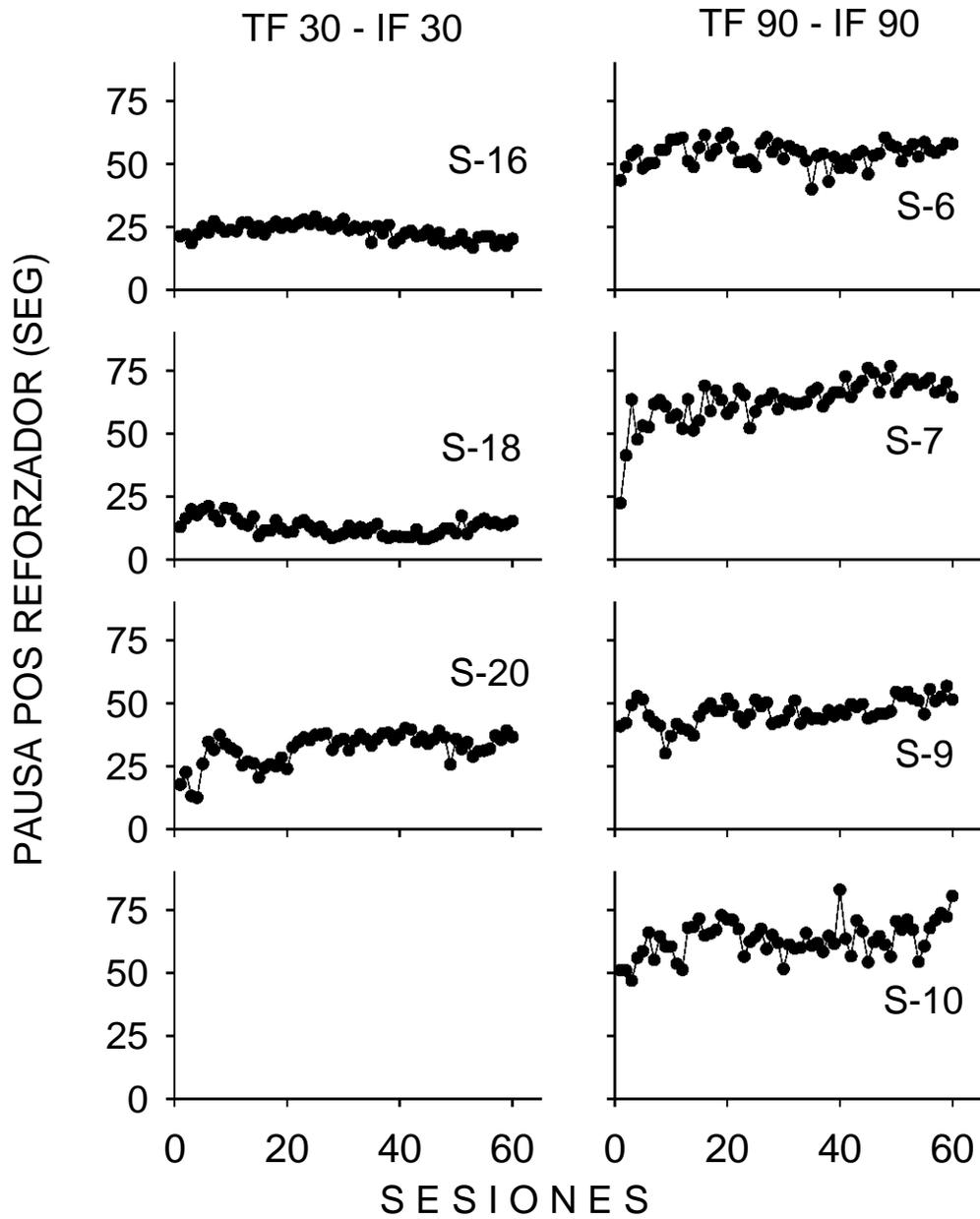


Fig. 2.4 Pausa pos reforzador promedio en sesiones consecutivas, en los programas IF 30 seg. (columna izquierda) e IF 90 seg. (columna derecha), para los sujetos en la condición TF.

En la Figura 2.5 se puede observar que el curso que siguió la PPR a lo largo del entrenamiento en IF, para los sujetos con historia en TV 30 seg., difirió del observado para los sujetos de la condición TF. En las primeras diez sesiones el valor de la PPR promedio mostró distintas trayectorias en cada sujeto, siendo su curso más variable que el observado para la condición TF, aunque al final del entrenamiento en IF, el valor de la PPR estabiliza.

En lo que respecta a los sujetos en la condición TV 90 seg., se observa más semejanza en las trayectorias entre sujetos y entre condiciones (TV y TF). En las primeras sesiones se puede observar la aparición de una PPR promedio de valor distinto de cero, como en la condición TF, de hecho, de duración grande. A medida que transcurren las sesiones, la PPR se va incrementando y muestra una tendencia a estabilizarse en una duración cercana a los 60 seg. (excepto sujetos 2 y 4, que alcanzan valores por encima de 60). En general, el valor de la PPR en el programa IF 90 seg. fue superior al de la PPR en el programa IF 30 seg., en una razón cercana a 3:1.

En la Figura 2.6 se comparan los datos grupales de pausa pos-reforzador promedio, de los experimentos 1a y 1b. Las PPR de los grupos TF 90 seg. siguieron trayectorias semejantes, con valores iniciales de PPR cercanos a 40 seg., que se fueron incrementando a un mismo ritmo a medida que transcurrió el entrenamiento, hasta estabilizarse aproximadamente a los 60 seg. Por su parte, para el grupo de TV 90 seg. los valores iniciales de la PPR fueron menores que

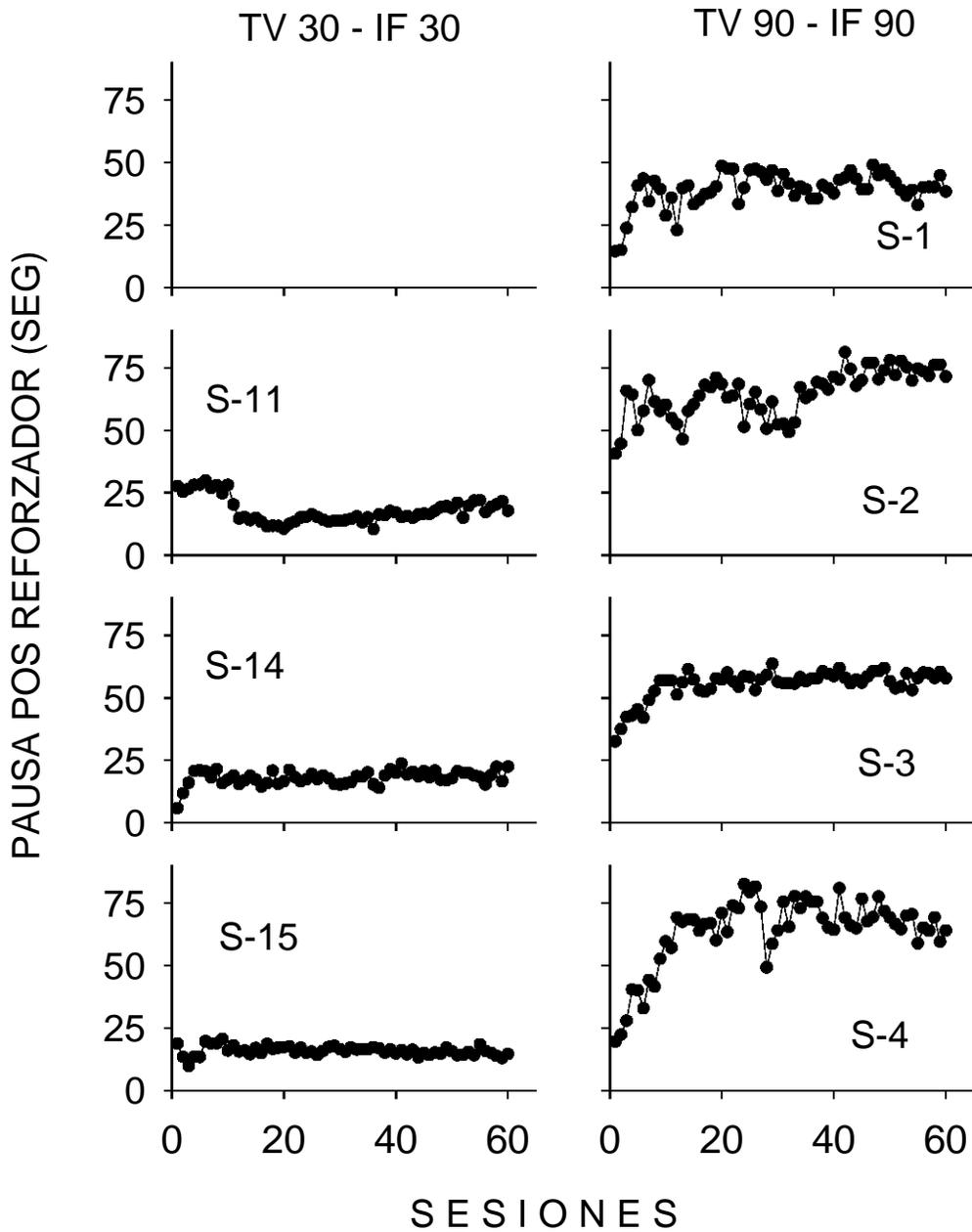


Fig. 2.5 Pausa pos reforzador promedio en sesiones consecutivas en los programas IF 30 seg. (columna izquierda) e IF 90 seg. (columna derecha) para los sujetos en TV.

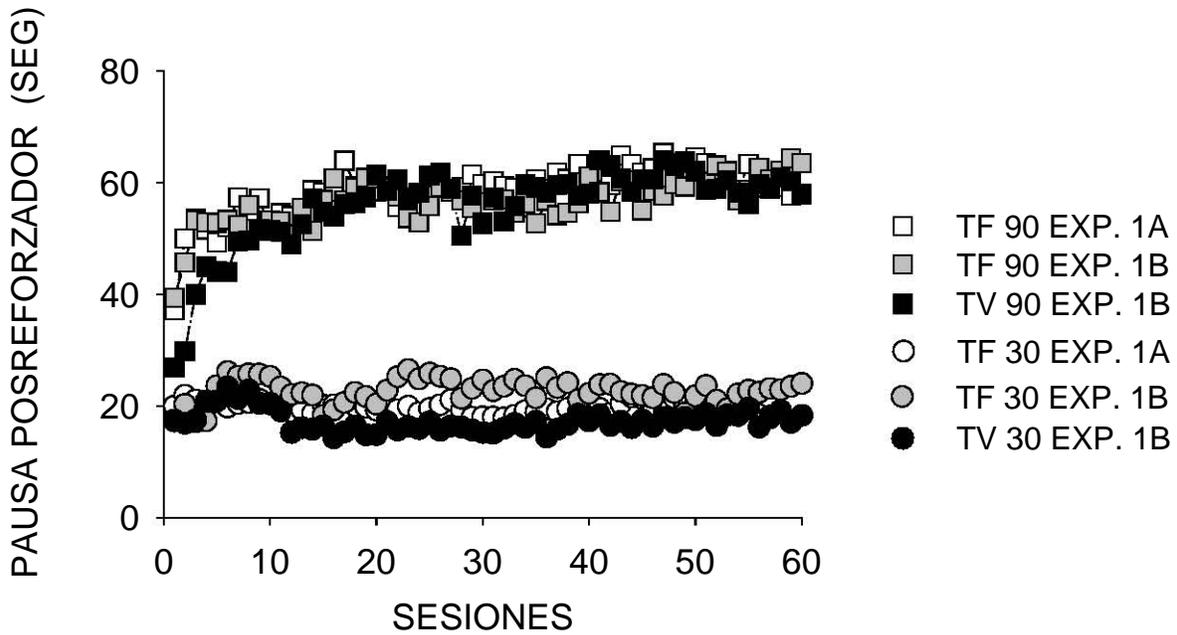


Fig. 2.6 Pausa pos reforzador promedio grupal, en sesiones consecutivas, en el programa IF 30 seg. (círculos) e IF 90 seg. (cuadrados), para los sujetos del experimento 1a con preentrenamiento en TF (en blanco) y del Experimento 1b con preentrenamiento en TF (en gris) y en TV (en negro).

los de los grupos TF, aunque se incrementan durante el mismo período (primeras diez sesiones) y se estabilizan en un valor semejante.

Los valores de la PPR más altos y variables correspondieron a los sujetos en la condición TF30-IF30 seg., exp. 1b. La PPR para el grupo TV 30 seg., siguió una trayectoria semejante, pero con menos variabilidad en sus duraciones, en tanto que el grupo TF 30 seg., exp. 1a, mostró un patrón que se mantuvo constante a lo largo del entrenamiento. Para el final del estudio, todos los grupos convergieron en un valor en estado estable por abajo de los 20 seg.

En términos generales, las trayectorias entre los programas TF y TV fueron semejantes, distinguiéndose únicamente porque la duración de la PPR siempre estuvo determinada por el IF experimentado.

Discusión

Como los experimentos 1a y 1b evaluaron el efecto de distintas historias de reforzamiento sobre la adquisición del control temporal, se procede a discutir de manera conjunta los resultados de los mismos. El objetivo del experimento 1a fue determinar si el efecto de distintas historias sobre la trayectoria de adquisición del control temporal en intervalo fijo es el predicho por el modelo LeT. Para ello se sometió a grupos de ratas a tres distintos programas (RF1, TF y RI), antes de introducir el programa de IF.

A nivel cualitativo los resultados del grupo RF1 fueron comparables a los reportados por Machado y Cevik (1998) con pichones y por Baron y Leinenweber (1994) con ratas (aunque estos últimos no reportaron los datos correspondientes a la primera sesión que permitieran corroborar la aparición del patrón de respuesta invertido). También los resultados obtenidos en las otras historias de reforzamiento fueron cualitativamente congruentes con las predicciones de LeT. (Tabla 1.1). Además, la ejecución del grupo RI replicó los hallazgos de Baron y Leinenweber (1995), quienes crearon una historia de reforzamiento con un programa de razón variable 20 (RV 20), que genera tasas de respuesta altas, antes de someterlos, por noventa sesiones, al programa IF 30 segundos.

Considerando las primeras cinco sesiones en intervalo fijo (Fig. 1.3), el patrón de respuesta reflejó el efecto del preentrenamiento en el número de estados conductuales condicionados y en la fuerza asociativa entre los estados conductuales y la operante. El análisis de la primera sesión, en particular, mostró que el programa de RF1 condicionó unos pocos estados, como se reflejó en el hecho de que el patrón de respuesta en la sesión inicial mostró una tasa alta en los primeros bins, (los correspondientes a los estados conductuales condicionados), decayendo en bins posteriores (porque durante el preentrenamiento esos estados no establecieron asociaciones con la operante), para mantenerse constante el resto del intervalo. En el caso de la historia con el programa RI, la tasa empezó alta y se mantuvo constante a lo largo de todo el IRI, indicando que este programa produjo el condicionamiento de un mayor número de estados (porque los intervalos de distintas duraciones que son reforzados con el programa RI, provocaron su aparición y condicionamiento). Lo anterior también se reflejó en una tasa de respuesta más alta que en la condición RF1. De igual manera, en el programa TF se promovió la disminución de la probabilidad de la respuesta, lo que se evidenció en la desaparición de cambios en la tasa de respuesta durante el primer segmento del IRI y la emisión de PPRs muy largas.

La adquisición se caracterizó por los cambios en la tasa de respuesta a lo largo de las sesiones, resumidos en el decremento de la misma en el primer segmento del IRI y su incremento en el segundo segmento. La transición entre ellos ocurre aproximadamente a la mitad del IRI, localización que se mantiene relativamente fija durante todo el entrenamiento, siendo, presumiblemente, el punto en el que los

efectos de las tendencias inhibitoria y excitatoria se equilibran. Destaca el hecho de que la tasa de respuesta del primer segmento se aproxima más rápidamente a estabilidad que la tasa de respuesta en el segundo segmento, como ya lo habían reportado Machado y Cevik, con pichones (1998).

El curso que siguió la adquisición también se conformó a lo predicho por el modelo LeT. Algunas características de los datos promedio por grupo (Fig. 1.7, Experimento 1a) indican cómo están actuando los procesos de reforzamiento y extinción en el desarrollo del control temporal: en la primera parte del intervalo la caída en la tasa de respuesta inicial es inmediata desde las primeras sesiones, independientemente del nivel de respuesta de entrada (un nivel de respuesta más bajo y restringido a la parte inicial del intervalo, para el caso de Reforzamiento Continuo, o un nivel alto y que abarca prácticamente a todo el intervalo, para el caso de historia en programas de Reforzamiento Aleatorio). En las sesiones posteriores, los cambios son pequeños e indistinguibles de sesión a sesión.

En los programas contingentes, esta caída brusca es atribuible al efecto de la extinción a que se ven sometidas las asociaciones entre la respuesta y los estados conductuales, adquiridas durante las sesiones de preentrenamiento, pues bajo intervalo fijo, el reforzamiento ocurre de manera demorada respecto al momento en que solía entregarse durante el preentrenamiento (menos en el caso del programa TF). La caída es más visible en los programas de RI, donde hay más estados asociados, que en los de RF1, en el que solamente los estados iniciales están condicionados. A medida que transcurre el entrenamiento y como producto

de la extinción, los estados pierden más y más fuerza asociativa, hasta que desaparece su asociación con la operante, lo que se traduce en el período sin respuesta al inicio del intervalo, conocido como pausa pos reforzador.

El aumento gradual del valor de la tasa en el segmento terminal del intervalo, desde el inicio del entrenamiento hasta alcanzar su valor en estado estable, refleja el efecto del reforzamiento. Los estados más cercanos al reforzador ganan más fuerza asociativa y esto se refleja en una tasa de respuesta más alta en ese período; a medida que el estado se aleja del reforzador, la fuerza asociativa disminuye, decrementando la tasa de respuesta en el tiempo correspondiente. Al parecer, el efecto del reforzamiento es más gradual que el de extinción, pues los cambios en el segundo segmento del IRI son más lentos que los que se dan en el primer segmento, como se refleja en el hecho de que no importa de qué magnitud tenga que ser el cambio en la tasa durante el segmento inicial para llegar al nivel de casi cero respuestas al final del entrenamiento en IF (por ejemplo, muy grande en el caso de los grupos con historia en RI o nulo en los TF), éste se da rápidamente pero, además, no afecta a los cambios en la tasa terminal que ocurren más gradualmente.

El patrón de respuesta en los programas TF resultó de particular interés, debido a que mostró una aparente “facilitación” en la adquisición del control temporal. Desde la primera sesión en IF se observó la ausencia del patrón invertido obtenido en las condiciones de RF1 y RI, que fue sustituido por uno en el que no se observan respuestas en el período inicial del intervalo y que se mantiene por el

resto del experimento. En consecuencia, las pausas pos reforzador fueron largas desde el principio del entrenamiento, alcanzando valores muy altos o incluso, su valor de estado estable. No obstante, sí se observan los cambios en el segundo segmento del intervalo, siguiendo un curso semejante al de las otras historias de reforzamiento. Al parecer, la preexposición al programa TF propició que la respuesta de apretar la palanca apareciera hasta muy avanzado el intervalo, lo que derivó en la supresión de las etapas iniciales del aprendizaje temporal durante el primer segmento del IRI.

Esto ocurrió en los dos valores del IF (30 o 90 seg.), difiriendo únicamente la tasa de respuesta **global**, que resultó menor en el programa IF 90 seg. que en el IF 30 seg.

Por otra parte, el comportamiento de la PPR promedio en los sujetos con historia en RF1 y RI, indicó que, en general, se requirió de aproximadamente diez sesiones para que esta medida alcanzara su nivel asintótico o de estado estable. Los cambios durante estas primeras sesiones dependieron del programa previo, como lo predice LeT (Tabla 1.1). El comportamiento de los dos primeros momentos de la distribución de pausas, en las sesiones en estado estable, fue congruente con la ley de Weber.

Además, como ha sido ampliamente reportado, se encontró que los efectos del preentrenamiento son transitorios, pues bajo entrenamiento extendido en IF, el

estado estable desembocó en el patrón esperado, para todas las historias (Baron y Leinenweber, 1994, 1995).

La interpretación alternativa de este resultado es que los animales estiman el intervalo entre reforzadores a través del conteo de su reloj interno, y lo almacenan en memoria de referencia. Al cambiar a los animales al programa de intervalo fijo, recuperan este valor de memoria de referencia, comparándolo con el que está almacenado en su memoria inmediata, respondiendo cuando la comparación relativa entre ambos registros cruza un cierto umbral, establecido, quizás, desde el preentrenamiento. No obstante una interpretación completa requeriría de determinar cómo se establece la relación entre la respuesta y la regla de decisión, pero SET no es explícito en ese aspecto (véase Gallistel y Gibbon, 2000).

En resumen, estos hallazgos corroboraron de manera cualitativa las predicciones de LeT, además de que simulaciones que se corrieron con las tasas de respuesta alcanzadas al final del pre-entrenamiento como los valores iniciales de los parámetros del modelo, reprodujeron los patrones iniciales y finales de la ejecución en IF obtenida en cada condición de este experimento. La evidencia empírica resultó acorde con la formulación de dicho modelo de que el control temporal es producto de la interacción de la conducta del organismo con las regularidades temporales del medio, presuntamente capturada por las nociones de estados conductuales, activación y establecimiento de lazos asociativos entre operante y estados conductuales, a través de los procesos de reforzamiento y extinción.

En el experimento 1b se trató de determinar si los animales con historia en TF aprendieron el tiempo sin que mediara la respuesta operante en dicho aprendizaje. No se encontró evidencia concluyente al respecto. La trayectoria y patrón de respuesta y pausas en el programa de intervalo fijo para los grupos TF y TV, fue semejante indicando que la regularidad temporal no resultó requisito indispensable para facilitar la adquisición del control temporal, sin embargo, los resultados del grupo TF del experimento 1b no reprodujeron los del grupo TF del experimento 1a.

Esto se puede atribuir al cambio de reforzador y la manera de entregarlo. En el experimento 1a el reforzador fue líquido y se entregó por medio de una cucharilla elevadiza con disponibilidad limitada, mientras que en el experimento 1b el reforzador consistió en alimento sólido, que estuvo disponible en la charola hasta su consumo. Las condiciones en 1a hacen importante adaptarse a la regularidad temporal en la entrega del reforzador, mientras que en 1b no. Para poder afirmar que existió (o no) aprendizaje temporal sin intermediación de la respuesta operante, es necesario que se controle esta variable.

No obstante, los resultados parecen favorecer a la propuesta conductual, ya que se obtuvo el mismo patrón de respuesta con la entrega aperiódica y no contingente de alimento (TV) que con la periódica no contingente (TF). Aunque SET no hace referencia a lo que aprende un animal cuando se le somete a la entrega periódica de reforzadores sin requisito de respuesta, se puede inferir que propondría que en la condición de tiempo fijo habría aprendizaje del intervalo entre reforzadores pero que esto no ocurriría en la de tiempo variable, pues la primera

situación dispone condiciones para que la estimación del intervalo resulte valiosa para el organismo y la segunda no. Los resultados indicaron que en ambas condiciones la trayectoria del control temporal fue la misma, de lo que se concluye que la condición TF no aceleró el control temporal, como lo podría predecir SET. No obstante, si la facilitación surgió de la disminución en la probabilidad de responder provocada por la entrega no contingente de reforzadores, era de esperarse la semejanza en las trayectorias, como ocurrió.

La afirmación de que la entrega no contingente de reforzadores produjo una reducción de la probabilidad de responder se corroboró, ya que los resultados de la condición en la que los animales son introducidos directamente al programa de Intervalo Fijo, después de un breve entrenamiento al comedero, indicaron que su tasa de respuesta en las sesiones iniciales fue baja, pero consistentemente mayor que la de los animales con historia extendida en programas no contingentes (Figs. 2.1, 2.2 y 2.3). El preentrenamiento no contingente produjo la baja tasa de respuesta al inicio del entrenamiento en IF, lo que a su vez favoreció la asociación de la respuesta operante (cuando ocurrió) con estados conductuales cercanos al criterio temporal del IF, facilitando así la adquisición de control temporal. Al parecer, en esta condición el proceso de reforzamiento estuvo más involucrado que el de extinción, al no haber asociaciones estado conductual-operante sobre las que el último pudiera actuar.

En conclusión, los resultados de este experimento parecen conformarse a las predicciones de la teoría conductual de estimación temporal en su versión

dinámica, aportando evidencia favorable a los procesos que ésta propone para dar cuenta del aprendizaje temporal. Modificaciones de las teorías actuales de estimación temporal deberán tener en consideración estos aspectos de LeT al explicar la adquisición de la conducta temporalmente regulada.

LA METÁFORA DEL RELOJ

Como se ha demostrado, los animales pueden aprender a ajustar su conducta a la ocurrencia temporalmente predecible de un evento significativo. Ésta puede actuar como un “reloj” para quien observa, pues le permite pronosticar con bastante exactitud el momento en que se presentará el evento (Church, 1978). Esta particularidad de la conducta dependiente del tiempo, llevó a algunos investigadores a proponer que tal adaptación es posible porque el animal posee una especie de “reloj interno” que lleva el registro del tiempo (Church, 1978; Roberts, 1981). A finales de los setenta, Seth Roberts, emprendió el estudio de las propiedades del reloj en la rata.

Roberts modificó el procedimiento creado por Catania (1970), consistente en la presentación en ensayos discretos, separados por intervalos de duración variable, de un programa de intervalo fijo mezclado con ensayos en los que el valor del programa se duplica o triplica y en los que se omite el reforzador. Calculó dos medidas: la tasa y el tiempo pico. Considerando solamente los ensayos no reforzados y a partir del punto en que la tasa de respuesta alcanza su valor máximo (tasa pico), determinó el tiempo que el animal ha asociado con reforzamiento, denominándolo “tiempo pico”. Al manipular la probabilidad y el

tiempo de reforzamiento, encontró que el sistema que permite el procesamiento temporal consta, al menos, de dos componentes separables: el que estima propiamente el tiempo y el que produce la respuesta. Al primero lo identificó como el “reloj” y se dedicó a describir sus propiedades.

A partir de una serie de experimentos en los que estudió la transferencia intermodal y la interrupción y reanudación de la señal a estimar, Roberts postuló entre otras, las siguientes características del reloj: puede ser detenido momentáneamente, estima la duración de tonos o luces, estima de manera selectiva o dependiente de la experiencia, posee una escala lineal, depende de un generador de pulsos interno y es preciso (Roberts, 1998).

Algunas de estas propiedades se relacionan con la noción de “marcador temporal”. Se considera como marcador temporal a cualquier evento (incluido el reforzador mismo) que prediga regularidad en la entrega del reforzador; por ejemplo, en los procedimientos por ensayos, el inicio del ensayo está claramente asociado con la entrega temporalmente predecible del reforzador. Dado que las ratas entrenadas estiman de manera bastante exacta, ensayo tras ensayo, en procedimientos tanto de estimación como de producción, es de suponer que el reloj se re-inicia con cualquier indicador del inicio del ensayo. Aunque no se ha profundizado en cuáles son los procesos que producen la re-inicialización, en general se sabe que pueden estar relacionados con las características del marcador temporal o con las propiedades discriminativas que adquieren los estímulos como predictores temporales. Esto sugiere que cualquier estímulo, en la

medida en que sea un predictor del tiempo a la siguiente entrega del reforzador, reiniciará el reloj (véase Cerutti y Staddon, 2004; Staddon e Innis, 1969).

Como SET, la metáfora del reloj interno también ha omitido aspectos relativos al aprendizaje: ¿Los modos de operación (re-inicio y detención) son el reflejo del comportamiento automático e inmutable del interruptor o son patrones de respuesta aprendidos, susceptibles de ser modificados por la experiencia? Por ejemplo, Cabeza de Vaca, Brown y Hemmes (1994), mencionan que el modo de operación del reloj que se manifiesta cuando se presentan por primera vez las interrupciones en un ensayo pico, es el de detención, pero que a medida que transcurren las sesiones cambia a re-inicialización, ¿cómo podría explicarse este hallazgo en el contexto de la metáfora del reloj interno?; además ¿cómo determina el organismo cuál es el marcador temporal en esta situación de estimación?. Estas son interrogantes que también atañen a las teorías del aprendizaje temporal.

El procedimiento de pico con interrupciones o procedimiento de gap.

El procedimiento de pico con interrupciones ha sido empleado para estudiar las propiedades cronométricas del reloj y los posibles factores de memoria involucrados. Este procedimiento de producción temporal prueba el valor en memoria del intervalo estimado, al interrumpir la señal y observar el efecto de la interrupción, o intervalo de retención, sobre el tiempo pico de la respuesta (Roberts, 1981, citado en Buhusi y Meck, 2000).

Lo que se ha observado es que los animales parecen suspender su procesamiento temporal ante la interrupción y eligen una de dos reglas de respuesta: *re-inicialización* o *detención* del reloj. La *re-inicialización* del reloj ocurre cuando la interrupción de la señal produce un desplazamiento del tiempo pico equivalente a la suma de la duración de la interrupción *más* el tiempo transcurrido hasta antes de la misma, y que se interpreta como la renovación completa del proceso de estimación. La *detención* del reloj se deduce del desplazamiento del tiempo pico por una duración igual a la interrupción, que se interpreta como el resultado de la apertura del switch producida por la interrupción, lo que impide el paso de los pulsos al acumulador. Una vez que la señal se reanuda, el switch se vuelve a cerrar, con la consiguiente reanudación en la acumulación de los pulsos, los cuales se agregan a los que ya se habían acumulado (Buhusi y Meck, 2000). Esta interpretación parte del supuesto de que los animales poseen la capacidad de recordar el intervalo estimado durante la interrupción o período de retención, por lo que se considera que el procedimiento de gap permite probar la memoria para la estimación temporal. Como ya se explicó, la forma de determinar la regla de respuesta elegida por el animal consiste en medir el cambio en el tiempo pico, comparando los ensayos con y sin interrupción y determinando a qué se parece dicho cambio: a una detención del reloj o a una re-inicialización.

Los primeros trabajos con el procedimiento de gap los reportan Church (1978) y Roberts (1981). Roberts, *op cit*, utilizando ratas como sujetos, introduce interrupciones de la señal en la forma de apagones de 10 segundos de duración, manipulando tanto la localización como la duración y la modalidad de la

interrupción. Programó la introducción de los apagones de 10 seg., transcurridos 10 segundos de iniciado el ensayo; otros de 5 segundos transcurridos 10 o 15 segundos de iniciado el ensayo y un ruido de 10 segundos de duración que apareció a los 15 segundos de iniciado el ensayo, presentándolos en distintas sesiones. Roberts hipotetiza que si el apagón detiene el reloj, y el tiempo transcurrido hasta antes del mismo se suma al transcurrido después, y esto no cambia la velocidad subsiguiente del reloj, entonces, un apagón incrementará el tiempo pico en una cantidad igual a su duración, no alterará la amplitud de la función de la tasa de respuesta y su momento de inicio no afectará el tamaño del incremento del tiempo pico. Como esperaba, se producen cambios en el tiempo pico dependientes de la longitud del apagón. La única inconsistencia en estas predicciones se refirió al tamaño del incremento, pues fue 3 segundos más grande de lo esperado. Roberts lo explica atribuyéndolo a la latencia para reiniciar el reloj o a que el apagón re-inicializó parcialmente el reloj, debido a su semejanza con los intervalos entre ensayos. Respecto a la interrupción por sonido, encuentra un incremento gradual del tiempo pico y un decremento de la tasa pico, que no se ajustan a la hipótesis de retención; estos cambios los explica señalando que el reloj es controlado solamente por estímulos que son señales de eventos importantes (alimento o descargas eléctricas) y que en las condiciones de este experimento, el sonido no tenía estas características.

Pese a que la propuesta de los modos de operación del reloj resulte intuitivamente acertada, su generalidad se ve limitada por los hallazgos sobre posibles diferencias entre especies y el impacto de la experiencia.

En un intento por determinar si los resultados se aplican a otra especie, Roberts, Cheng y Cohen (1989) replicaron el estudio anterior, utilizando palomas. Reportan que ante interrupciones programadas como apagones, en el rango de 1 a 9 segundos, los pichones re-inician el reloj mientras que las ratas lo detienen (Roberts y Church, 1978; Roberts, 1981), concluyendo que, al parecer, cada especie, ratas o pichones, utiliza una estrategia distinta para responder.

Brodbeck, Hampton y Cheng (1998), trabajando con una especie particular de aves (paros americanos), confirman el hallazgo de que las interrupciones en el procedimiento de pico producen re-inicialización del reloj interno en aves, apoyando la afirmación sobre posibles diferencias entre especies en el sistema de estimación temporal.

Pero también se han reportado resultados de re-inicialización en ratas con lesiones en la fimbria del fórnix (Meck, Church y Olton, 1984; Olton, Meck y Church, 1987; Meck, 1996), implicando un déficit en la memoria de trabajo. Esta hipótesis no es aplicable al caso de las palomas por lo que Roberts, et al., atribuyen los resultados a diferencias entre especies. Los pichones utilizan una estrategia de estimación discontinua o de re-inicialización, ya que cualquier cambio en la señal dentro de un ensayo es visto como el fin de un episodio de estimación temporal y cualquier reaparición de la misma señal lleva a un nuevo episodio de estimación que inicia desde cero.

Como ya se mencionó, existe evidencia de que el modo de operación que emerge parece depender de la experiencia y es susceptible de ser modificado por la misma, pues la introducción de la interrupción suele producir conducta semejante a detención durante adquisición (Gibbon y Balsam, 1981 citados en Cabeza de Vaca et al, 1994) o al principio del entrenamiento, seguido de un cambio en la ejecución con sesiones adicionales (Church, 1982 citado en Cabeza de Vaca, et al, 1994).

Hipótesis del decaimiento del recuerdo

Otra explicación basada en memoria, es la hipótesis del *decaimiento del recuerdo*, que explica tanto la respuesta de detención como la de reinicio en estos términos, independientemente de posibles efectos de atención (Cabeza de Vaca, Brown y Hemmes, 1994). Según esta hipótesis, el recuerdo del intervalo actualmente estimado decae de forma no lineal como función de la duración de la interrupción pero variando linealmente con la localización de la misma. Una interrupción breve posibilita un decaimiento pequeño, explicando cambios en el tiempo pico semejantes a la *detención* en la estimación. Si la interrupción es suficientemente prolongada, el recuerdo del intervalo decaerá casi totalmente y parecerá que los animales *reiniciarán* la estimación después de la interrupción. Así, los modos de operación del reloj no reflejan el funcionamiento cuasi-mecánico del interruptor, como al parecer propone SET y la metáfora del reloj de Church, sino un continuo de decaimiento del recuerdo.

Para probar lo anterior, Cabeza de Vaca et al., llevan a cabo tres experimentos en los que manipulan sistemáticamente tanto la duración como la localización de la interrupción. Encuentran que a medida que se aumenta la duración de la interrupción, el tiempo pico se desplaza de manera consistente con el modo de operación “re-inicio”, y que con interrupciones breves el desplazamiento es más semejante el esperado con “detención”, aunque los cambios son siempre intermedios a los esperados bajo uno u otro modo de operación; la función que relaciona el decaimiento del recuerdo y la duración de la interrupción es exponencial, acorde con modelos de memoria existentes (Wixted y Ebbensen, 1991), por lo que concluyen que lo que se está afectando es precisamente el recuerdo de la duración percibida y no la regla de operación del reloj.

Hopson (1999) implementó una simulación conexionista del experimento de Cabeza de Vaca, modificando el modelo de estimación temporal espectral de Grossberg y Schmajuk (1989). Este modelo propone que el estímulo condicionado (EC) pone en marcha un espectro de nodos con distintas funciones de activación, produciendo una serie de señales que alcanzan su pico en distintos puntos del intervalo. La asociación entre estas señales y el estímulo incondicionado resulta en una función de activación de respuesta unimodal, centrada en el intervalo entrenado, representando la respuesta temporalmente controlada.

Para simular la ejecución en el procedimiento de “gap”, Hopson introduce un proceso de decaimiento de la activación de los nodos ante la ausencia del estímulo condicionado (EC), lo que ocasiona cambios en el tiempo pico que se

aproximaron a la detención del reloj, para interrupciones cortas, y a la re-inicialización del reloj, con interrupciones largas, reproduciendo los resultados del estudio de Cabeza de Vaca et al.

Una hipótesis alternativa a la del decaimiento del recuerdo es la basada en el control de estímulos. En el procedimiento de pico, el intervalo entre ensayos se programa como un “apagón” y se asocia a la ausencia de reforzamiento para las respuestas emitidas durante el mismo. Si después de cierta cantidad de entrenamiento se producen interrupciones en el estímulo que señala la duración a estimarse, con la característica de ser programadas como “apagones”, no sería extraño que el animal respondiera a estas condiciones como ha aprendido a hacerlo en el pasado: disminuyendo o suprimiendo las respuestas y respondiendo a la reanudación del estímulo como al inicio de un nuevo ensayo. Es decir, manifestando el control que esos estímulos han adquirido sobre su conducta. Esa es la hipótesis de la ambigüedad instruccional que Kaiser, Zentall y Neiman (2002) propusieron y trataron de probar.

Hipótesis de la ambigüedad instruccional

Para comprobarla, Kaiser, et al. (2002), utilizando palomas como sujetos, manipulan las condiciones estímulo que señalan al intervalo entre ensayos o IEE y a la interrupción, manteniéndolas iguales o distintas. Reportan que si el IEE y la interrupción comparten la misma señalización, el cambio en el tiempo pico se pareció más al esperado con re-inicialización del reloj; si se señalaban diferencialmente, los cambios se parecieron más a los esperados bajo el modo de

operación de detención. Sus resultados permiten inferir que, más que diferencias entre especies en los modos de operación del presunto reloj interno, se debe considerar la intervención de procesos de aprendizaje más básicos y generales.

La corroboración de la hipótesis de ambigüedad instruccional fue parcial porque interrupciones cortas que aparecen ya avanzado el intervalo a estimar, cuando la

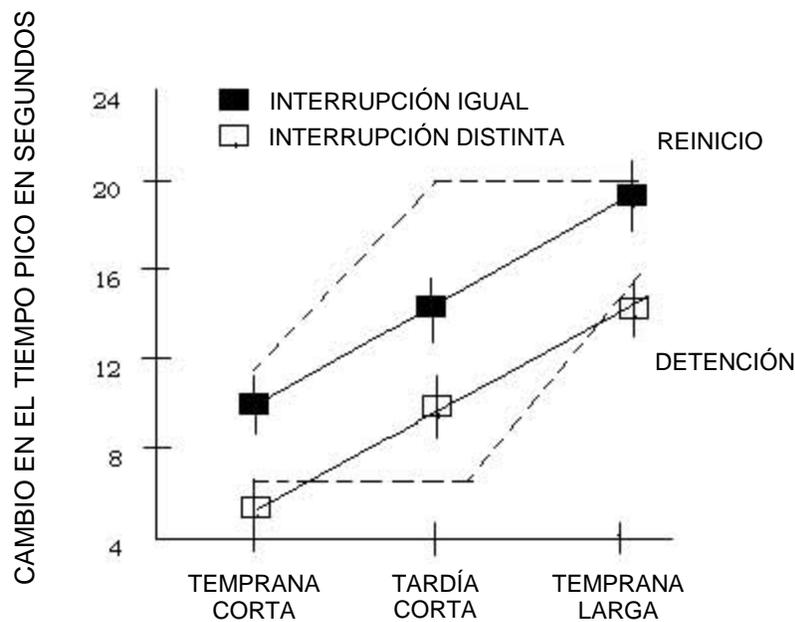


Fig. 2.1. Cambios en el tiempo pico para ensayos con interrupciones temprana-corta, tardía-corta y temprana-larga, en que las condiciones ambientales durante las interrupciones igualaban las del intervalo entre ensayos (interrupción igual) o eran distintas (interrupción distinta). La línea punteada superior indica las predicciones del modo re-inicio. La línea punteada inferior indica las predicciones del modo detención-retención. Las barras verticales indican el error estándar de la media (Tomado de Kaiser, Zentall y Neiman, Journal of Experimental Experimental: Animal Behavior Processes, 2002).

tasa de respuesta es alta, producen tiempos pico intermedios a los predichos por re-inicio o detención, independientemente de que IEE e interrupción compartan o no la misma señalización (Véase Figura 2.1). Este hallazgo sugiere al nivel de la tasa de respuesta, u otras condiciones estímulo prevalecientes durante la misma, como posible determinante de la ejecución.

Otro estudio que enfatiza las propiedades del estímulo como determinantes del reinicio de la estimación temporal, es el efectuado por Buhusi y Meck (2000), quienes trabajando con ratas y utilizando el procedimiento de gap invertido, en el que a diferencia del procedimiento estándar se estima la ausencia de la señal, no su presencia, encuentran que la introducción de “gaps” de 1, 5 y 15 segundos de duración, en la forma de presentación de una señal, a los 15 segundos de iniciado el ensayo, produce una re-inicialización del reloj, contrario a lo que se obtiene en el procedimiento estándar, en el que las ratas detienen su reloj. Concluyen que los modos de operación de detención y re-inicio no dependen exclusivamente de la duración de la interrupción o de la especie, sino de las propiedades del estímulo estimado o del evento interruptor, así como de su saliencia y contenido.

Como se deriva de lo anterior, existen factores que no son de carácter temporal que están afectando la estimación. Algunos de estos factores se relacionan con aspectos de procedimiento y con las características de la señal a estimar. Los experimentos 2 y 3 del presente trabajo se diseñaron con el objetivo de determinar sus efectos en el modo de operación del reloj que surge cuando se interrumpe la señal a estimarse, en el procedimiento de pico con “gaps”.

Se abordan las siguientes preguntas: ¿Hacer semejantes las *duraciones* del IEE y de la interrupción inducirá la re-inicialización del reloj?, ¿El mecanismo de estimación temporal procesa de igual manera la interrupción de una señal unimodal que la de una señal bimodal?

Experimento 2. Efectos de la duración mínima del intervalo entre ensayos y la duración de la interrupción en el modo de operación del reloj interno

Como ya se mencionó, una explicación alterna a la hipótesis de decaimiento del recuerdo es la hipótesis del control de estímulos. Así, si durante la fase de entrenamiento el animal aprende que la finalización del IEE (programado como un apagón) señala el inicio del intervalo a estimar (programado como la presentación de una señal visual o auditiva de duración fija), tras el cual y dada la respuesta en el operando, es altamente probable que llegue el reforzador, sería de esperar que la interrupción del estímulo a estimar, sobre todo cuando restablece las condiciones propias del IEE, produzca un patrón de respuesta semejante al denominado “re-inicio”. Kaiser, Zentall y Neiman (2002) han denominado a ésta, la hipótesis de la ambigüedad instruccional.

El objetivo del siguiente experimento es poner a prueba esta hipótesis, manipulando tanto la semejanza entre las condiciones que señalan el IEE y la Interrupción como la duración mínima del IEE, con la suposición de que entre más semejantes sean el IEE y la interrupción, tanto en términos de estímulos como de duración, más claramente se observará el modo de “re-inicialización”. Adicionalmente se manipula la localización de la interrupción para evaluar las

Se abordan las siguientes preguntas: ¿Hacer semejantes las *duraciones* del IEE y de la interrupción inducirá la re-inicialización del reloj?, ¿El mecanismo de estimación temporal procesa de igual manera la interrupción de una señal unimodal que la de una señal bimodal?

Experimento 2. Efectos de la duración mínima del intervalo entre ensayos y la duración de la interrupción en el modo de operación del reloj interno

Como ya se mencionó, una explicación alterna a la hipótesis de decaimiento del recuerdo es la hipótesis del control de estímulos. Así, si durante la fase de entrenamiento el animal aprende que la finalización del IEE (programado como un apagón) señala el inicio del intervalo a estimar (programado como la presentación de una señal visual o auditiva de duración fija), tras el cual y dada la respuesta en el operando, es altamente probable que llegue el reforzador, sería de esperar que la interrupción del estímulo a estimar, sobre todo cuando restablece las condiciones propias del IEE, produzca un patrón de respuesta semejante al denominado “re-inicio”. Kaiser, Zentall y Neiman (2002) han denominado a ésta, la hipótesis de la ambigüedad instruccional.

El objetivo del siguiente experimento es poner a prueba esta hipótesis, manipulando tanto la semejanza entre las condiciones que señalan el IEE y la Interrupción como la duración mínima del IEE, con la suposición de que entre más semejantes sean el IEE y la interrupción, tanto en términos de estímulos como de duración, más claramente se observará el modo de “re-inicialización”. Adicionalmente se manipula la localización de la interrupción para evaluar las

predicciones de la hipótesis de decaimiento del recuerdo: cambio semejante a detención con interrupciones tempranas, cambio semejante a re-inicio con interrupciones tardías. La hipótesis de ambigüedad predice re-inicio en cualquier localización.

Método

Sujetos

Se utilizaron 14 ratas albinas Wistar, machos, de tres meses y diez días de edad al inicio del experimento, con un manejo semejante al de los experimentos anteriores.

Aparatos

Se usaron 7 cajas de condicionamiento operante, de dimensiones 21.0 cm de altura x 30.5 cm de largo x 24.1 cm de ancho, marca MED-Associates. La pared frontal de cada caja estaba provista de la palanca fija izquierda, una luz señalizadora y el orificio del dispensador de pellets, colocado en la parte central de la pared y situado a 5 cm de la rejilla sobre la que se posaba el animal. Además de la luz ubicada sobre la palanca, se adaptó otra en 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. Se adaptó una fuente de ruido blanco para enmascarar ruidos externos, además de que las cajas se mantuvieron aisladas de luz y ruido. Cada rata fue moldeada en la caja en que correría todo el experimento. 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, con las mismas condiciones estímulo de los experimentos 1a y 1b. Todas tardaron entre dos y tres sesiones en adquirir la respuesta. El número de reforzadores por sesión fue de 50.

A fin de asegurar tasas de respuesta elevadas antes de introducir las sesiones con ensayos no reforzados, se procedió a someter a las ratas a dos sesiones de un programa de Reforzamiento 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 establecido el volumen de respuestas alto, se procedió a dividir aleatoriamente a las ratas en dos grupos (IEE mínimo 5-seg. e IEE mínimo 25-seg.), y a someterlas a una mezcla de 45 ensayos discretos de un programa de Intervalo Fijo de valor 30-seg. (IF 30) y 15 ensayos discretos no reforzados o ensayos pico, con duración promedio 30-seg. a los que se agregaron 90-seg. La duración a estimar fue señalada por el encendido de la luz general y la luz de la palanca. En 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 indicadora de la entrega del

reforzador. Los ensayos estuvieron separados por un Intervalo entre Ensayos (IEE) de 45-seg., en promedio. Durante este período la caja permaneció a oscuras. Para el cálculo de los valores de los ensayos pico e IEE, se utilizó la fórmula de Flesher y Hoffman (1962) con $N = 15$ y media = 30-seg., y con $N = 60$ y media = 45-seg., respectivamente. A cada uno de los 60 intervalos así generados se le agregó 5 o 25 segundos, según el grupo. 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

Estas sesiones consistieron en la presentación, durante una proporción de los ensayos pico (80%), de interrupciones de 9-seg. en la señal, pudiendo presentarse en dos localizaciones: a los 6 (Temprana) o a los 15 (Tardía) segundos de iniciado el ensayo. La presentación de los distintos tipos de ensayo 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 “temprana” y dos con interrupción “tardía”, presentados de manera aleatoria. Como en la fase anterior, las sesiones iniciaron siempre con cinco ensayos IF reforzados, que no fueron analizados. Esta fase estuvo vigente por 35 sesiones.

Resultados

Se analizan los datos correspondientes a las 12 primeras 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). Las respuestas emitidas durante los ensayos Pico y Pico más Interrupción se ordenaron en bins de 1 segundo. 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 se promedió, diariamente, entre ensayos, a fin de obtener la tasa de respuesta promedio para cada sujeto. Con estos datos, se ajustó el modelo generalizado gaussiano + lineal:

$$R(T) = a \times \exp\left\{-.5 \times \left[\frac{(t - t_0)}{b}\right]^2\right\} + c \times (t - t_0) + d$$

Donde t es el momento actual (en bins de 1 seg.) y $R(t)$ es el número de repuestas promedio en el bin de tiempo t . Un algoritmo iterativo proporciona los parámetros a , b , c , d y t_0 . El parámetro t_0 es el estimado del tiempo pico, $a + d$ proporciona el estimado de la tasa de respuesta pico y b el estimado de la precisión de la estimación temporal. Para el caso de los ensayos de “Solo Pico”, se tomó el intervalo de 0 a 90 segundos, en tanto que para los ensayos de “Pico con Interrupción”, el ajuste se realizó considerando los 90 segundos siguientes a la finalización de la interrupción. Con los datos de tiempo pico, sujeto por sujeto, así obtenidos se procedió a efectuar los análisis que enseguida se describen. El alfa establecido fue de 0.05.

A fin de determinar si la interrupción en la señal provocó cambios en los tiempos pico se realizó un análisis con los datos diarios individuales, provenientes de los primeros doce días de la fase de prueba. Un ANOVA de medidas repetidas tomando los doce valores como dato, con Grupo (IEE 5-seg. o IEE 25-seg.) y Tipo de Ensayo (Pico, Interrupción Temprana e Interrupción Tardía) como factores,

indicó que solamente existieron diferencias estadísticamente significativas en el factor Tipo de Ensayo ($F_{[2,22]}=822.78$, $p<0.01$), por lo que se procedió a promediar los datos de las sesiones. Los tiempos pico promedio para los ensayos sin interrupción, con interrupción a los 6 seg. (temprana) y con interrupción a los 15 seg. (tardía), fueron 32.81 ± 2.32 , 44.86 ± 2.15 y 51.42 ± 3.01 , respectivamente. La prueba de Scheffé indicó que, considerando el Tipo de Ensayo, existieron diferencias significativas entre todos los pares de comparaciones posibles ($p<0.01$).

Como se puede observar en la Figura 2.2, el tiempo pico aumentó en función del momento en que se presentó la interrupción de la señal a estimar, siendo este cambio independiente del valor mínimo del IEE programado (cinco o veinticinco segundos), lo que se confirma al observar que las medias de uno y otro grupo, por tipo de ensayo, resultan indistinguibles. Los datos de la Tabla 2.1 confirman que no existieron diferencias en las medias de los dos grupos, para los distintos tipos de ensayo, aunque la variabilidad del grupo IEE 25 seg. fue superior a la del grupo IEE 5 seg.

Con el objetivo de determinar el modo de operación que se activó ante la interrupción de la señal a estimar, se procedió a calcular el cambio en el tiempo pico, sujeto por sujeto y sesión por sesión. Se efectuó un ANOVA de medidas repetidas con Grupo (IEE 5-seg. o 25-seg.) y Tipo de Ensayo como factores entre

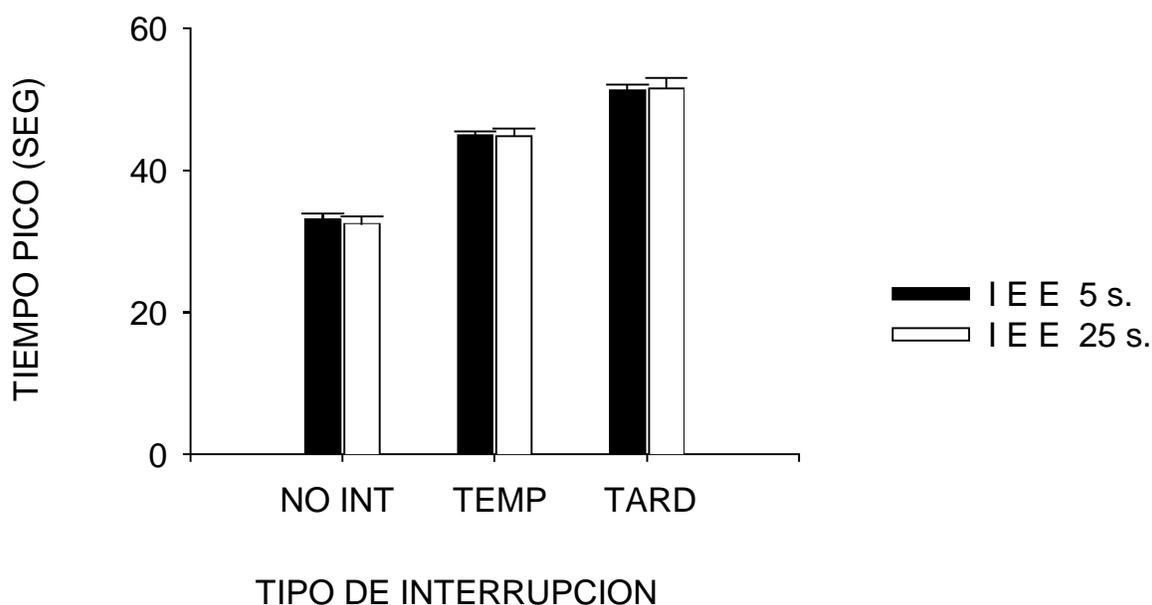


Figura 2.2. Tiempos pico promedio para los ensayos sin interrupción, con interrupción a los 6 seg. (temprana) y con interrupción a los 15 seg. (tardía), para los grupos IEE mínimo 5-seg. (barra llena) e IEE mínimo 25-seg. (barra vacía). En cada punto se indica el error estándar de la media.

| Grupo | IEE 5 seg. | | | IEE 25 seg. | | |
|-------|------------|----------|----------|-------------|----------|----------|
| | SIN INT | INT TEMP | INT TARD | SIN INT | INT TEMP | INT TARD |
| Media | 33.12 | 44.89 | 51.32 | 32.50 | 44.83 | 51.53 |
| D. E. | 2.07 | 1.68 | 1.95 | 2.67 | 2.69 | 3.98 |

Tabla 2.1. Media y Desviación Estándar (D. E.) del Tiempo Pico por Grupo y Tipo de Ensayo (Sin interrupción = SIN INT; interrupción temprana = INT TEM; interrupción tardía = INT TARD). Se promedian las doce sesiones de la condición de ensayos pico con interrupción.

e intra, respectivamente. Solamente el factor Tipo de Ensayo resultó estadísticamente significativo ($F_{[1,12]}=213.88$, $p<.01$). Por lo anterior, se promediaron los cambios de tiempo pico sin considerar el Grupo y con esos datos se probaron las hipótesis respecto al modo de operación utilizado. Se procedió a comparar el promedio del cambio en el tiempo pico obtenido en cada tipo de ensayo y se contrastó, a través de una prueba t, con los cambios predichos según la hipótesis de detención (cambio de 9s, para ambas localizaciones) y la hipótesis de re-inicio (cambio de 15s para la localización Temprana y de 24s, para la localización Tardía). Las pruebas t indicaron que los cambios en los tiempo pico no se ajustaron a los predichos por detención ni por re-inicialización, para ninguna de las localizaciones, temprana o tardía, de la interrupción. (Interrupción temprana: detención, $t_{13}=7.97$, $p<.05$; re-inicialización, $t_{13}=-6.79$, $p<.05$; interrupción tardía: detención, $t_{13}=17.56$, $p<.05$ y re-inicialización, $t_{13}=-9.30$, $p<.05$). Los cambios en el tiempo pico resultaron ser consistentemente mayores a los predichos por detención y consistentemente menores a los predichos por re-inicialización.

En la Figura 2.3, se presentan las curvas de tasa de respuesta *promedio* ajustadas, obtenidas para los ensayos pico y para los ensayos con interrupción temprana y tardía, de los doce días analizados. Para efectos de comparación, se ajustó el porcentaje de respuestas respecto al máximo, calculado para cada rata y promediado después para todos los sujetos (véase Tabla 2.2). En este gráfico el cambio en el tiempo pico en los ensayos con interrupción “temprana” coincide con el valor predicho por re-inicialización pero no coincide con el predicho por detención (aunque las pruebas t indican que el cambio no fue el esperado bajo

ninguno de estos modos), mientras que el cambio en el tiempo pico con la interrupción “tardía” se ubicó por encima del predicho por detención y por debajo del esperado por re-inicialización. Cualitativamente, la ejecución se pareció más a una re-inicialización que a una detención del reloj, es decir, los cambios del tiempo pico difirieron más de lo predicho por detención que de lo predicho por re-inicialización (véase los valores de t).

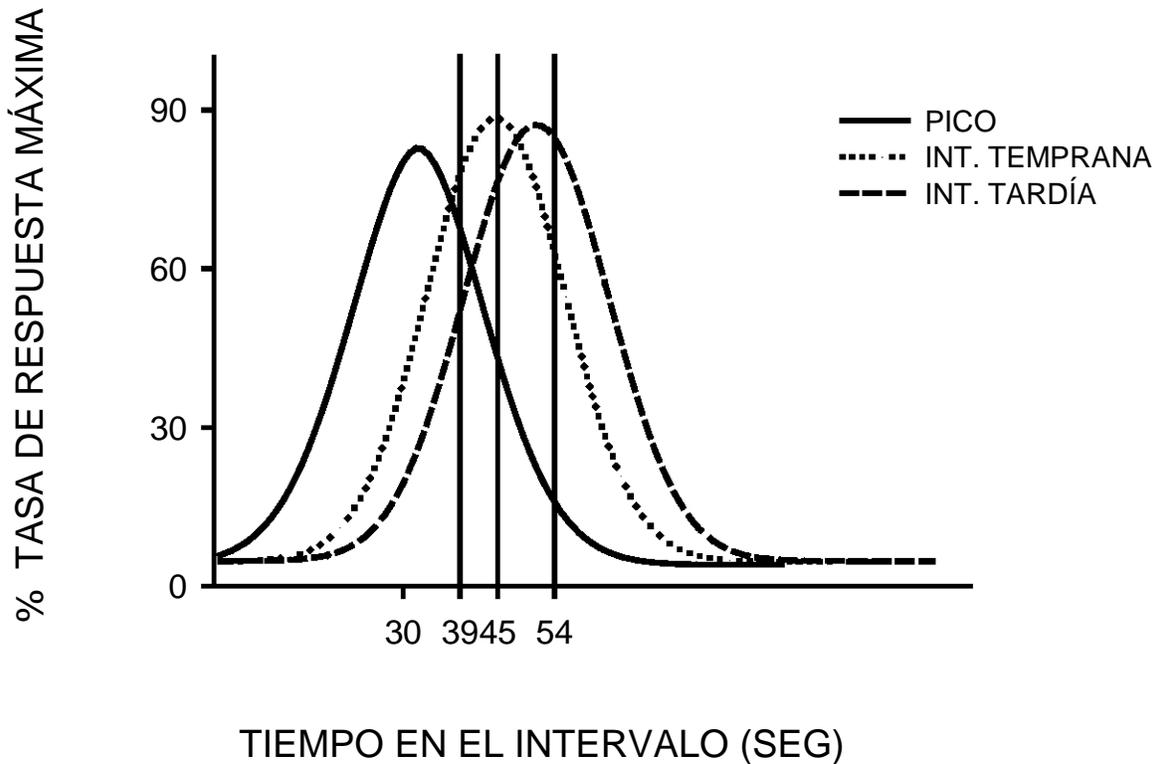


Figura 2.3. Ajustes al porcentaje de la tasa de respuesta máxima promedio en los ensayos sin interrupción (pico), con interrupción a los 6s (temprana) y con interrupción a los 15s (tardía). Las líneas verticales indican el tiempo pico predicho con detención del reloj (39s), con re-inicialización para la interrupción temprana (45s) y con re-inicialización para la interrupción tardía (54s).

| Tipo de Ensayo | Tiempo Pico | Tasa Pico | Precisión | R² |
|-----------------------|--------------------|------------------|------------------|----------------------|
| Pico | 32.41 | 82.76 | 10.48 | 0.99 |
| Interrupción Temprana | 44.72 | 88.42 | 10.95 | 0.99 |
| Interrupción Tardía | 51.12 | 87.13 | 11.49 | 0.99 |

Tabla 2.2 Valores de los parámetros del ajuste gaussiano-lineal, para los datos del porcentaje de la tasa de respuesta máxima promedio, en los ensayos sin interrupción, con interrupción a los 6s (Temprana) y con interrupción a los 15s (Tardía).

Discusión

Los resultados indicaron que la manipulación sobre la duración del IEE no produjo la aparición diferenciada de los modos de re-inicialización o detención del reloj interno, debido a que no se logró igualar las duraciones de IEE e interrupción. La serie de valores de IEE programados fue muy grande y variada, por lo que no se debe descartar la posibilidad de que una serie con menos valores y de duraciones más cercanas a las de la interrupción, produzcan los resultados predichos.

No obstante, en los dos grupos estudiados, la interrupción de la señal produjo cambios que resultaron consistentes con las predicciones de la hipótesis del decaimiento del recuerdo (Cabeza de Vaca, et al, 1994) y contrarios a la hipótesis de ambigüedad instruccional (Kaiser, et al, 2002).

La semejanza en términos de condiciones estímulo que acompañaron al IEE y a la INT (apagón de la cámara operante) no produjo la re-inicialización del reloj, como

lo predeciría la hipótesis de ambigüedad instruccional (Kaiser, Zentall y Neiman, 2002; Roberts, Cheng y Cohen, 1989). A pesar de compartir la señalización, las ratas del presente experimento mostraron cambios en el tiempo pico localizados entre los esperados bajo los dos modos de operación reconocidos.

Por el contrario, los resultados concuerdan con los reportados por Cabeza de Vaca, Brown y Hemmes (1994), quienes obtuvieron cambios distintos a re-inicialización y detención, presentando interrupciones de 6 segundos (tres segundos más pequeñas que las aquí utilizadas) en las mismas localizaciones de este estudio. Los cambios en el tiempo pico en sus condiciones de interrupción temprana, tardía y larga (interrupción de 15 segundos), les permiten postular la hipótesis de decaimiento no lineal del recuerdo, lo que no se pudo corroborar en este experimento debido a que no se programó otra interrupción de distinta duración.

Los cambios en el tiempo pico producidos por una interrupción temprana o tardía resultaron significativamente distintos entre sí (12.24 seg. vs. 18.81 seg., $p < .01$, prueba de Scheffé), mostrando una tendencia creciente y una diferencia entre cambios de aproximadamente 6 seg., igual a la reportada por Cabeza de Vaca et al., (1994) para el caso de una interrupción de 6 segundos.

La teoría de decaimiento del recuerdo identifica dos fuentes en la aparición del modo de operación: la duración de la interrupción y la localización de la misma. Un efecto que Cabeza de Vaca et al. no consideran, se relaciona con el nivel de

respuesta vigente al momento de introducirse la interrupción, como lo señalan Kaiser et al., (2002). Estos autores subrayan que la tasa de respuesta forma parte de las condiciones estímulo que están presentes al momento de la interrupción y mencionan la posible dificultad de los animales para responder a la misma tasa a la que respondían antes de la interrupción, al reanudarse la señal, y de ahí el efecto de un cambio intermedio en el tiempo pico. Otra posibilidad es que una interrupción breve de localización tardía, cuando los animales se encuentran respondiendo al ocurrir el “break”, no proporciona la misma ambigüedad que las interrupciones tempranas, en momentos que, posiblemente, los animales no estén respondiendo (Kaiser, Zentall y Neiman, 2002).

Según Cabeza de Vaca et al., (1994), la magnitud del cambio en el tiempo pico es una función creciente de la localización de la interrupción, que se traduce en un cambio en el modo de operación de detención a re-inicio. Lo que se obtuvo en este experimento fue que, en efecto, entre más tarde se presenta la interrupción, más semejante es el cambio al esperado por la re-inicialización del reloj (Figura 2.3). Pero esto coincide con una tasa de respuesta más elevada en ese momento, por lo que no se puede descartar que esta variable determine el cambio en el tiempo pico, sea por sus características discriminativas o por afectación de alguno de los componentes que determinan su valor.

En línea con esta última posibilidad, están los estudios con programas de Intervalo Fijo que indican que los efectos de ciertas drogas dependen del nivel de respuesta (Odum y Schaal, 2000) y las investigaciones con el procedimiento de intervalo fijo

y pico segmentados (Dews, 1962; Meck y Church, 1984; Church, Guilhardi, Keen, MacInnis y Kirkpatrick, 2003), cuyos resultados indican que señalizaciones de modalidad distinta a la del estímulo a estimar, producen caídas en la tasa de respuesta proporcionales al nivel de ésta al momento de ocurrir la señalización.

En el presente experimento, la interrupción de 9 segundos en la localización tardía se presentó a la mitad del intervalo reforzado, observándose un desplazamiento del tiempo pico semejante a re-inicio, pero no fue posible comprobar si localizaciones posteriores generarían un cambio mayor y más congruente con el esperado bajo re-inicialización tanto para interrupciones breves y largas o si, interrupciones breves y largas, aún más tardías, localizadas en la parte de la curva donde la tasa de respuesta vuelve a caer, producirían cambios semejantes a detención, como sería predecible de una hipótesis de dependencia del valor de la tasa de respuesta pero no de la hipótesis del decaimiento del recuerdo, ya que ésta sostiene que entre más tardíamente se presente la interrupción, el cambio en el tiempo pico será más parecido a la re-inicialización del reloj.

Existen al menos dos modelos asociacionistas que dan cuenta del patrón de tasa de respuesta en procedimientos temporales. El modelo general de aprendizaje, (Hopson 1999, 2003) y LeT (Machado, 1997), aunque únicamente el primero se ha desarrollado para explicar este patrón en el procedimiento de pico con interrupciones y se basó en la noción de decaimiento del recuerdo para explicarlo, pero LeT se puede modificar para asumir que la interrupción de la señal puede

producir la reducción de la activación con el consiguiente desplazamiento de la función de respuesta.

Experimento 3. Estimación de una señal bimodal y los modos de operación del reloj interno

Los procedimientos de estimación temporal implican que la estimación ocurre ante las condiciones estímulo que indican el tiempo a estimar, por ejemplo, el encendido de una luz o la presentación de un tono. En el procedimiento de pico se supone, además, que cuando dichas condiciones estímulo se interrumpen, también se interrumpe la estimación. En el experimento 3 se trató de extender este hallazgo a condiciones con estímulos compuestos, en donde el estímulo indicador del tiempo es una combinación de dos señales de distinta modalidad, a fin de determinar si se procesan como compuesto o no. El grado de control temporal ganado por el compuesto de estímulos se puede probar utilizando el procedimiento de pico con interrupciones, en el que las dos señales inician la interrupción al mismo tiempo, pero su término ocurre en dos momentos: en uno se reinicia sólo uno de los estímulos y en otro, posterior, se reinicia el segundo estímulo. Si el control ocurre por el compuesto, el comportamiento de la estimación temporal en este procedimiento estará asociado a la interrupción de la señal compuesta de ambos estímulos, si no, una sola de las señales dominará al reloj.

Las principales teorías de estimación temporal asumen un mecanismo central de estimación, aplicable a todos los procedimientos conocidos, a todas las duraciones

producir la reducción de la activación con el consiguiente desplazamiento de la función de respuesta.

Experimento 3. Estimación de una señal bimodal y los modos de operación del reloj interno

Los procedimientos de estimación temporal implican que la estimación ocurre ante las condiciones estímulo que indican el tiempo a estimar, por ejemplo, el encendido de una luz o la presentación de un tono. En el procedimiento de pico se supone, además, que cuando dichas condiciones estímulo se interrumpen, también se interrumpe la estimación. En el experimento 3 se trató de extender este hallazgo a condiciones con estímulos compuestos, en donde el estímulo indicador del tiempo es una combinación de dos señales de distinta modalidad, a fin de determinar si se procesan como compuesto o no. El grado de control temporal ganado por el compuesto de estímulos se puede probar utilizando el procedimiento de pico con interrupciones, en el que las dos señales inician la interrupción al mismo tiempo, pero su término ocurre en dos momentos: en uno se reinicia sólo uno de los estímulos y en otro, posterior, se reinicia el segundo estímulo. Si el control ocurre por el compuesto, el comportamiento de la estimación temporal en este procedimiento estará asociado a la interrupción de la señal compuesta de ambos estímulos, si no, una sola de las señales dominará al reloj.

Las principales teorías de estimación temporal asumen un mecanismo central de estimación, aplicable a todos los procedimientos conocidos, a todas las duraciones

estudiadas y a todas las modalidades sensoriales susceptibles de permitir la estimación de la duración (Grondin, 2001; Church y Kirkpatrick, 2001). El análisis de la influencia de las características de la señal sobre la percepción de la duración pueden tener un valor diagnóstico para discriminar entre modelos de estimación temporal (Penney, 2003). Grondin, op cit, sostiene que si los juicios temporales son independientes de las características sensoriales de las señales a estimar, se puede creer en la existencia de un mecanismo central de estimación temporal, pero si las características no temporales del marcador afectan la discriminación de la duración, entonces tal afirmación es cuestionable.

Estudios que apoyan la noción de un mecanismo de propósito general son aquellos en los que se entrena una duración en dos modalidades distintas como la visual y la auditiva, en los que al cambiar el criterio temporal para una de ellas, cambia también el criterio temporal de la otra, demostrándose así la naturaleza intermodal del sistema (Roberts, 1982). Al parecer, no existe un reloj para cada modalidad, pues Eijkman y Vendrik (1965, citados en Roberts, 1982) encontraron que no hay diferencias en la exactitud de la estimación de dos modalidades cuando luz y sonido se entrenan de manera separada, además de que su presentación combinada no produjo aumentos en dicha exactitud, como se esperaría si las señales estuvieran siendo estimadas de manera simultánea por distintos relojes.

Otra posibilidad es que en la estimación temporal estén involucrados otros procesos cognoscitivos, como encontró Meck (1984), quien analizó el efecto de un sesgo atento entre modalidades sobre el reloj interno, la memoria y la etapa de decisión, en tareas temporales con ratas. Observó que la latencia para iniciar el reloj interno y la selección e integración de criterios temporales y reglas de respuesta para distintas modalidades sensoriales, depende del sesgo atento del sujeto hacia alguna modalidad estímulo, el cual puede ser inducido por la manipulación de la probabilidad o la advertencia de su presentación. Además observó un efecto asimétrico de modalidad sobre la latencia para empezar la estimación temporal tanto en el procedimiento de bisección temporal como en el procedimiento de pico. La latencia de las señales luminosas aumentó cuando la modalidad de la señal fue inesperada, no así la de las señales sonoras. Meck explicó este efecto asimétrico suponiendo que las señales sonoras cierran el modo interruptor automáticamente, mientras que las señales luminosas lo hacen solamente si la atención está dirigida a la luz. El tiempo requerido para cambiar la atención se refleja en una reducción en el número de pulsos provenientes del generador que entra al acumulador. La propuesta de Meck es la integración de los efectos de sesgos atentos al modelo de procesamiento de información de Gibbon y Church. El siguiente experimento evalúa el efecto de la redundancia de los estímulos indicadores del tiempo al interrumpir diferencialmente una señal compuesta por luz y sonido. Intenta determinar el grado de control de cada señal y su efecto sobre los modos de operación del reloj interno.

Método

Sujetos

Se utilizaron 10 ratas albinas, Wistar, machos, de tres meses diez días de edad al inicio del experimento, con el manejo referido en los experimentos anteriores, asignadas aleatoriamente a uno de dos grupos.

Aparatos

Los mismos que en el Experimento 1a. El reforzador utilizado en este experimento fue leche condensada diluida en agua.

Procedimiento

Preentrenamiento

Todos los sujetos fueron moldeados manualmente, como se explicó en el experimento 2 y adquirieron la respuesta en dos o tres sesiones. El número máximo de reforzadores obtenidos fue de 50. A continuación se sometió a los sujetos a cuatro sesiones de reforzamiento continuo, con el mismo arreglo de estímulos ya referido y en las que podían obtener un máximo de 50 reforzadores.

A fin de asegurar tasas de respuesta elevadas antes de introducir las sesiones con ensayos no reforzados, se procedió a someter a los sujetos a dos sesiones de un programa de reforzamiento de Intervalo Aleatorio (RI, por sus siglas en inglés) de valor 15 seg., seguidas por otras dos sesiones de RI valor 30-seg. El máximo posible de reforzadores obtenidos en estas condiciones fue 44.

Procedimiento de Pico

Una vez establecido un volumen de respuestas alto, se procedió a someter a los sujetos al procedimiento experimental, que consistió en presentar una mezcla de 44 ensayos discretos de un programa de Intervalo Fijo de valor 30-seg. (IF 30-seg.) y 21 ensayos discretos no reforzados o ensayos pico, con duración promedio 30-seg. a los que se agregaron 90-seg. La duración a estimar fue señalada por el encendido de la luz general, la luz de la palanca y el tono; en el caso de los ensayos de IF, al momento de cumplirse el requisito de tiempo transcurrido y respuesta emitida, estos estímulos se apagaban y se activaba la cucharilla con el reforzador y se encendía una luz localizada encima del mismo. Los ensayos estuvieron separados por un Intervalo entre Ensayos (IEE) de valor promedio de 45 seg. al que se suman 15 seg., durante el cual la caja permanecía oscura y silenciosa. Los valores de los ensayos pico e IEE, se calcularon con la fórmula de Flesher y Hoffman con $N = 21$ y media = 30 seg., y con $N = 60$ y media = 45 seg., respectivamente. Las sesiones siempre iniciaron con cinco ensayos de IF reforzados, los cuales no fueron analizados. Los sesenta ensayos restantes, IF o Pico, se presentaron de manera aleatoria. Esta condición se mantuvo vigente por 60 sesiones.

Pico con Interrupciones

Estas sesiones consistieron en la presentación, durante los ensayos pico, de interrupciones de 5 o 15 segundos en la señal compuesta de Tono y Luz, pudiendo ser de la misma duración para ambas señales o no, lo que dio lugar a 4 tipos de ensayos: Ensayos con Interrupción de 15 seg. o 5 seg. de duración,

durante el que se interrumpen tanto la Luz como el Tono (denominados ensayos con *interrupción de igual duración*), Ensayos con Interrupción de 15 seg. de duración para Luz y de 5 seg. de duración para Tono, y ensayos con lo inverso. Este tipo de ensayos se denominarán ensayos con interrupción de *distinta duración*. En todos los casos, el inicio de la interrupción para ambas señales se programó para que ocurriese simultáneamente. Un grupo de ratas experimentó la interrupción a los 6 segundos (Grupo Interrupción Temprana) de iniciado el ensayo y otro, a los 15 (Grupo Interrupción Tardía). (Véase Figura 3.1 para descripción del tipo de ensayo pico con interrupción).

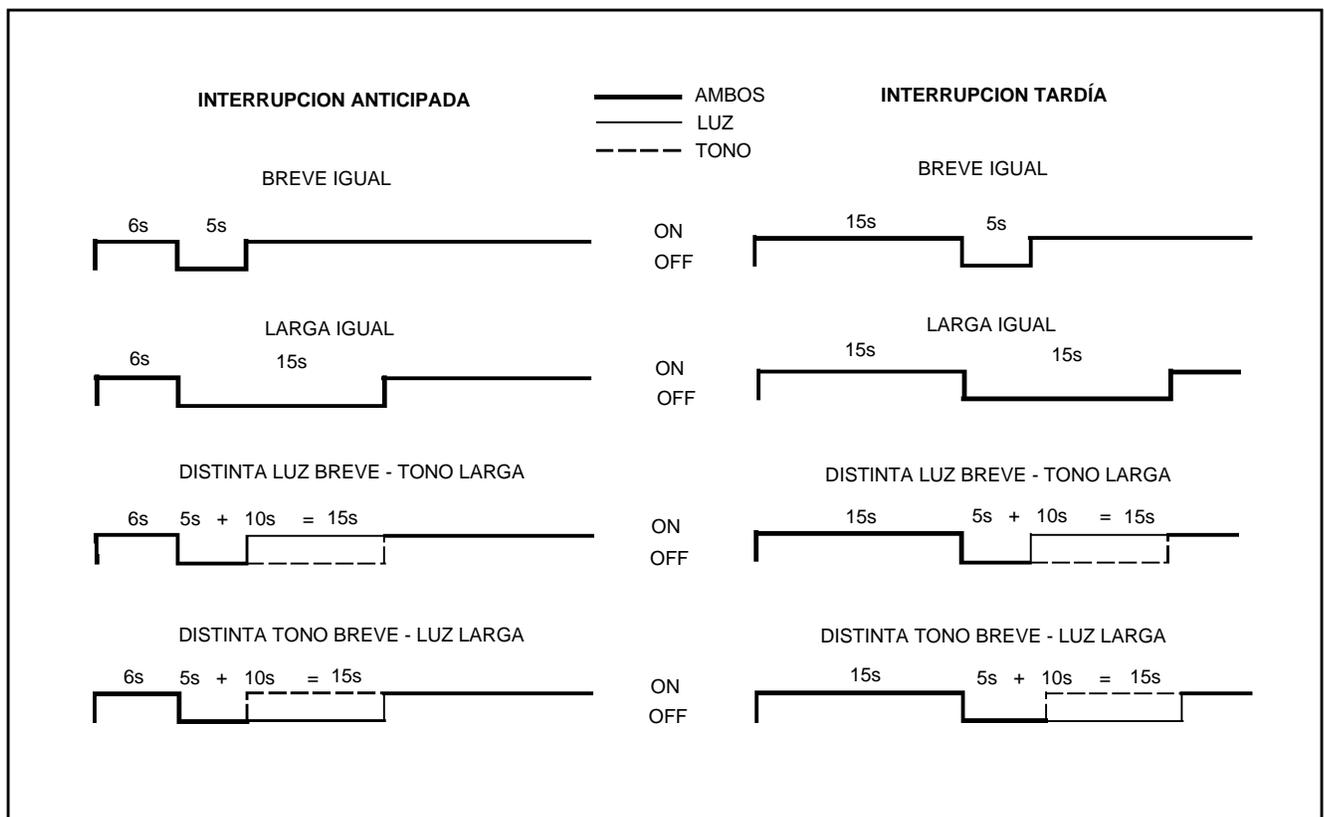


Figura 3.1. Esquema con los tipos de ensayo. Las líneas indican el estado (ON u OFF) de las señales vigentes: luz, tono o ambas. En la parte izquierda se muestran los tipos de ensayo para la interrupción temprana y en la derecha para la interrupción tardía.

La presentación de los distintos tipos de ensayo se organizó en tres bloques, compuestos de 20 ensayos cada uno, de los cuales 13 fueron ensayos IF reforzados, 3 ensayos Pico, más uno de cada tipo ya mencionado (4 ensayos con interrupción de señal). Estos ensayos se presentaron aleatoriamente. Como en la Fase anterior, las sesiones iniciaron siempre con cinco ensayos de IF reforzados. Esta fase estuvo vigente por 12 sesiones.

Resultados

Se analizan los datos correspondientes a las 12 sesiones de la condición de Pico con Interrupción. El análisis se llevó a cabo ordenando en bins de 1 segundo las respuestas emitidas durante los ensayos Pico y Pico más Interrupción y ajustando el modelo mencionado en el Experimento 2, a fin de obtener los valores de Tasa Pico, Tiempo Pico y Precisión de la estimación (desviación estándar).

Para el caso de los ensayos de Solo Pico, se tomó el intervalo de 0 a 90 seg., en tanto que en los ensayos de Pico con Interrupción, el ajuste se realizó para los siguientes 90 segundos después de terminada la interrupción. Para el caso de las interrupciones diferenciadas se ensayó el ajuste para cada terminación de la interrupción visual o auditiva (5 o 15 seg. y 15 o 5 seg.).

Enseguida se procedió a calcular el cambio en el tiempo pico, sujeto por sujeto y sesión por sesión, con el objetivo de determinar si los cambios en el tiempo pico fueron sensibles a las modalidades y tipos de ensayo (por ejemplo, si el cambio en el tiempo pico con interrupción Luz-Tono de 5 seg. es igual o distinto del cambio en el tiempo pico en ensayos con interrupción de Luz por 5 seg. y de Tono por 15

seg.), así como para conocer el modo de operación que se presentó ante la interrupción de la señal a estimar.

El primer análisis consistió en un ANOVA de medidas repetidas con Grupo (Interrupción temprana o Interrupción Tardía) como factor Entre y Sesión y Tipo de Ensayo como factores Intra. Los efectos principales de los factores Grupo y Tipo de Ensayo (Grupo, $F_{[1,8]}= 33.39$, $p < 0.01$; Tipo de Ensayo, $F_{[3,24]}= 20.96$, $p < 0.01$) resultaron estadísticamente significativos, no así el de sesión ni la interacción entre Grupo y Tipo de Ensayo.

En la gráfica superior derecha de la Figura 3.2, que compara los cambios producidos por la Interrupción de 5s vs la Interrupción de 15s de ambas señales, se muestra que estas interrupciones produjeron cambios estadísticamente distintos entre sí (Interrupción Temprana, $F= 158.11$, $p<0.01$; Interrupción Tardía, $F= 229.43$, $p<0.01$). En la gráfica inferior izquierda se comparan los cambios producidos por la Interrupción de 5s de ambas señales vs la interrupción de 5s Luz-15s Tono, en las dos localizaciones consideradas. Los cambios fueron idénticos para el caso de la localización temprana (barras de la izquierda; $F=0.4$, $p= 0.55$) y *diferentes* para el caso de la localización *Tardía* (barras de la derecha; $F= 18.26$, $p= 0.003$). En la gráfica superior derecha se comparan los cambios para la interrupción de 15s de ambas señales vs la interrupción de 15s Luz-5s Tono, en las dos localizaciones manipuladas. Los cambios fueron idénticos en ambas localizaciones (Interrupción Temprana, $F= 0.07$, $p= 0.79$; Interrupción Tardía, $F= 2.64$, $p= 0.14$). Las comparaciones entre la interrupción de 15s de ambas señales

vs la interrupción de 5s Luz-15s Tono, para ambas localizaciones (no graficadas), indicó que sus correspondientes cambios fueron estadísticamente distintos (Interrupción Temprana, $F= 142.9$, $p<0.01$; Interrupción Tardía, $F= 84.12$, $p<0.01$).

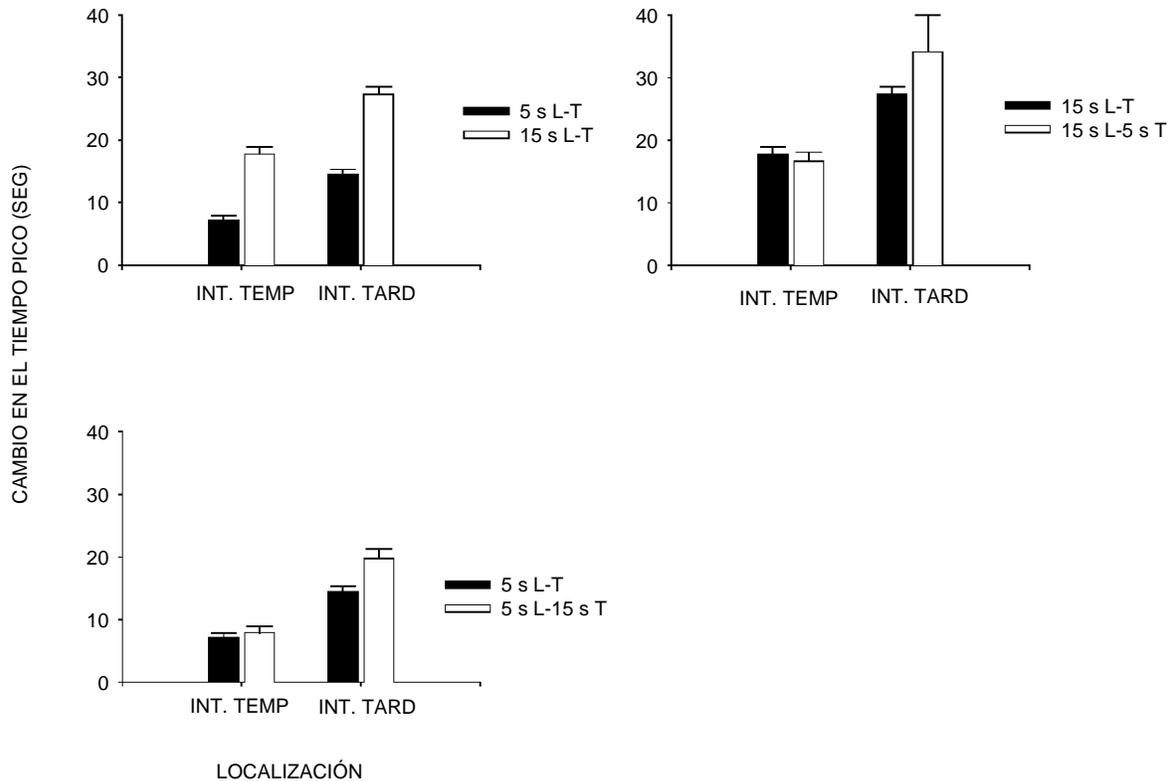


Fig. 3.2. Medias de los cambios en el tiempo pico. El cambio es la diferencia entre los tiempos pico de ensayos sin interrupción y los ensayos con interrupción igual de 5 seg., igual de 15 seg., distinta 5s Luz-15s Tono y distinta 15s Luz-5s Tono, para las localizaciones Temprana y Tardía de la interrupción. La gráfica superior izquierda presenta los cambios con Interrupciones Iguales; la gráfica Inferior Izquierda presenta los cambios con Interrupción Igual de 5s e Interrupción Distinta 5s Luz-15 s Tono y la gráfica superior derecha los cambios con interrupción Igual 15s e Interrupción Distinta 15s Luz-5s Tono.

Por último, la comparación entre el cambio producido por la interrupción de 5s de ambas señales y la interrupción por 15s Luz-5s Tono (no graficadas), resultó estadísticamente *no significativa* en la condición de Interrupción *Temprana* ($F=4.24$, $p=0.07$), pero estadísticamente distinta en la de Interrupción Tardía ($F=18.14$, $p=0.002$). Como puede observarse en la Figura 3.2, los cambios en el tiempo pico para el Grupo de Interrupción Tardía (barras de la derecha en cada gráfica) fueron siempre superiores a los del Grupo de Interrupción Temprana.

En términos generales se obtuvo que la Luz controló la respuesta, ya que a excepción de dos resultados (uno en el grupo de Interrupción Temprana y otro en el de Interrupción Tardía, señalados con cursivas en el texto), los cambios en los tiempos pico fueron función de la duración de la interrupción en la señal luminosa, como lo demuestra el hecho de que los cambios en el tiempo pico producidos por la interrupción de la misma duración de ambas señales, fue estadísticamente idéntico al cambio producido por la interrupción diferenciada de la señal luminosa. Es decir, las ratas trataron la interrupción de la luz, en los ensayos con duraciones de interrupción distintas para cada señal, como si fuese un ensayo en el que ambas señales se interrumpieron por 5 segundos (o 15, según fuese el caso), sin considerar la duración de la interrupción del tono (excepto en los dos casos ya mencionados).

Para determinar el modo de operación que resultó de los distintos tipos de interrupción, se procedió a comparar los promedios de los cambios en los tiempos picos con los cambios predichos por cada modo de operación, a través de la

prueba t (Tabla 3.1), como se hizo en el Experimento 2. Los resultados indicaron que la interrupción de 5 segundos de Luz-Tono produjo cambios en el tiempo pico consistentemente menores que lo esperado con re-inicio y consistentemente mayores que lo esperado con detención, independientemente del momento en que se presentó la interrupción (Interrupción temprana: detención, $t_4 = 2.83$, $p < .05$; re-inicialización, $t_4 = -5.13$, $p < .05$; interrupción tardía: detención, $t_4 = 11.35$, $p < .05$ y re-inicialización, $t_4 = -6.60$, $p < .05$).

La interrupción por 15 segundos de la señal compuesta de Luz-Tono, y de 15 segundos de Luz y 5 segundos de Tono, produjo el siguiente patrón de resultados: en la condición de Interrupción Temprana, consistentemente se observó un cambio en el Tiempo Pico igual al predicho por el modo de operación de detención (Interrupción de 15 seg. Luz-Tono, detención, $t_4 = 2.37$, $p > .05$; re-inicialización, $t_4 = -2.79$, $p < .05$; Interrupción de 15 seg. Luz, 5 seg. Tono, detención, $t_4 = 1.11$, $p > .05$; re-inicialización, $t_4 = -3$, $p < .05$), mientras que en la condición de Interrupción Tardía, el resultado fue un cambio en el Tiempo Pico igual al predicho por el modo de operación re-inicialización (Interrupción de 15 seg. Luz-Tono, detención, $t_4 = 9.95$, $p < .05$; re-inicialización, $t_4 = -2.20$, $p > .05$; Interrupción de 15 seg. Luz, 5 seg. Tono, detención, $t_4 = 3.29$, $p < .05$; re-inicialización, $t_4 = 0.71$, $p > .05$). Por último, la condición de interrupción de 5 segundos de la señal Luz y 15 segundos de la señal Tono en la localización Temprana produjo un cambio en el Tiempo Pico intermedio al predicho por los modos de operación de detención y re-inicio (detención, $t_4 = 2.92$, $p < .05$; re-inicialización, $t_4 = -3.11$, $p < .05$), consistente con el reportado para el caso de la interrupción de 5 segundos de ambas señales,

mientras que en la localización Tardía el cambio fue el esperado de acuerdo con una re-inicialización del reloj (detención, $t_4 = 9.56$, $p < .05$; re-inicialización, $t_4 = -0.18$, $p > .05$).

Se puede concluir que con Interrupciones Tempranas se obtuvieron dos patrones: uno asociado a la interrupción de la Luz durante 5 segundos (tanto en la condición de interrupción igual como diferente) que produjo cambios intermedios a los esperados con los modos de detención y reinicio, y el asociado a la interrupción de 15 segundos de la Luz (con interrupción del tono de la misma o distinta duración), que consistentemente produjo un cambio semejante al esperado con la detención del reloj, mientras que, tomados en conjunto, y con excepción de la interrupción de 5 segundos de Luz y Tono, que produjo un cambio en el tiempo pico intermedio, las interrupciones Tardías produjeron siempre cambios equivalentes a la re-inicialización del reloj (Tabla 3.1).

| Tipo de Int. | 5s L-T | 5s L-15s T | 15s L-T | 15s L-5s T |
|--------------|------------|------------|-----------|------------|
| | Igual | Diferente | Igual | Diferente |
| Localización | | | | |
| Temprana | Intermedio | Intermedio | Detención | Detención |
| Tardía | Intermedio | Reinicio | Reinicio | Reinicio |

Tabla 3.1. Resumen de los resultados del modo de operación del reloj que apareció en cada tipo de ensayo considerado, cuando se aplicó una prueba t ($\alpha = 0.05$, 2 colas).

Las interrupciones tardías de la señal, luminosa o compuesta, produjeron disminuciones en las curvas de tasa de respuesta, independientemente de la duración de las mismas, así como una subestimación del tiempo de reforzamiento esperado de 30s (Tabla 3.2 y Figura 3.3, donde se grafican solamente las interrupciones de igual duración de las señales compuestas).

Discusión

Los resultados indicaron que las ratas de este experimento con una señal compuesta de luz-tono, ignoraron el tono. Los cambios en los tiempos pico en los ensayos con interrupción de distinta duración, apuntan a que la reanudación de la señal luminosa fue la que controló la respuesta. Posiblemente la luz “ensombreció” al tono, pues en el procedimiento de este estudio se programó que la entrega del reforzador fuera señalada por el encendido de una luz, y es probable que esto produjera que ganase saliencia. Este resultado apoya las afirmaciones de que hay otros procesos (cognoscitivos o de aprendizaje) que acompañan a la estimación temporal (Meck, 1984); y que los organismos responden de manera adaptada al medio (Church, 1978).

En el presente experimento se encontró, al igual que en el Experimento 2, que el modo de operación que emergió de la interrupción de la señal bimodal (diferencial o no) pareció depender de la duración y la localización de la misma. Estos resultados son consistentes con lo que predice la hipótesis del decaimiento del recuerdo (Cabeza de Vaca, et al, 1994). En general se observó que la interrupción temprana y breve de la señal (sólo luminosa o combinada) produjo un cambio

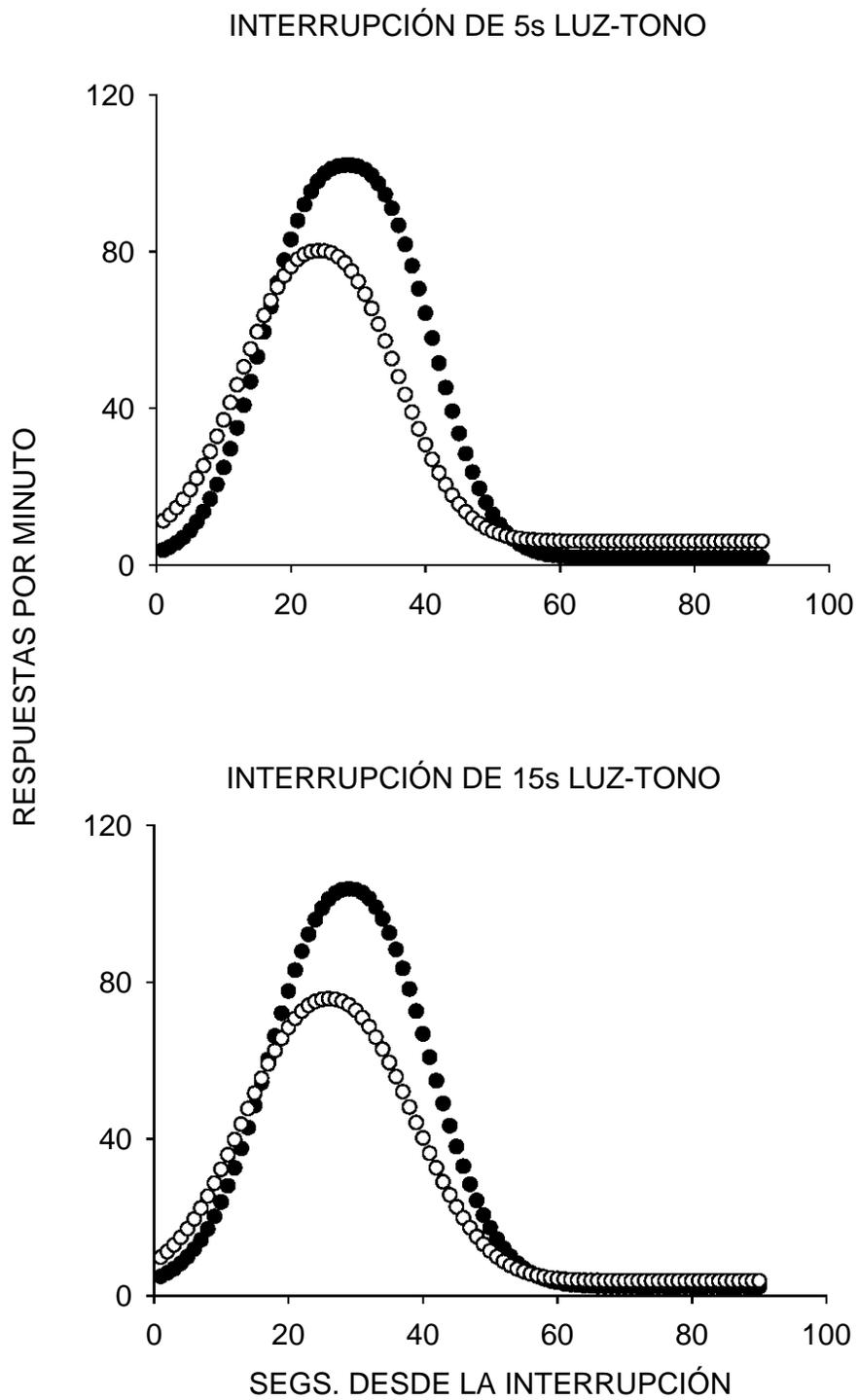


Fig. 3.3 Tasa de respuesta ajustada para las interrupciones de igual duración de ambas señales, en las dos localizaciones manipuladas. Para efectos de comparación se toma el tiempo desde la finalización de la interrupción.

| Interrupción Igual Luz-Tono | Tipo de Ensayo | Tiempo Pico | Tasa Pico | Precisión | R² |
|--|-----------------------|--------------------|------------------|------------------|----------------------|
| 5s | Interrupción Temprana | 28.37 | 102 | 11.88 | 0.99 |
| 5s | Interrupción Tardía | 24.23 | 80.19 | 11.13 | 0.98 |
| 15s | Interrupción Temprana | 29.05 | 103.82 | 11.44 | 0.99 |
| 15s | Interrupción Tardía | 26.05 | 75.75 | 12.12 | 0.98 |

Tabla 3.2 Valores de los parámetros del ajuste gaussiano-lineal, para los datos del porcentaje de la tasa de respuesta máxima promedio, con interrupción igual de 5s o 15s, a los 6s (Temprana) y con interrupción a los 15s (Tardía).

La interrupción larga con localización temprana produjo un cambio equiparable a detención, como el reportado por Cabeza de Vaca et al (Experimento 1, Figura 3, pág. 188). Pero, las interrupciones tardías (excepto la breve de igual duración, de la señal compuesta), produjeron cambios en el tiempo pico semejantes a los esperados con el re-inicio del reloj y la disminución de la tasa de respuesta (Fig. 3.3). Este último resultado pareciera apuntar a una explicación en términos de control de estímulos, pues la interrupción a esa altura del intervalo pudo convertirse en una señal de que el ensayo no terminaría en reforzamiento.

El patrón de resultados obtenidos considerando la localización de la interrupción (temprana-detención; tardía-reinicio), también es compatible con la hipótesis de dependencia del valor de la tasa de respuesta al momento de introducirse la interrupción, manteniendo abierta la cuestión de determinar si el modo de operación observado es producto de ella o es explicable en términos exclusivamente de memoria.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

El presente trabajo tuvo como objetivo explorar los aspectos del control temporal y los modos de operación del presunto reloj interno. En lo que respecta al primer punto, los experimentos reportados (1a y 1b), se centraron en la evaluación cualitativa de las predicciones de LeT acerca del curso que seguirá la adquisición de la conducta temporalmente regulada en condiciones en las que a través del tipo de preentrenamiento se altera la fuerza asociativa de los estados conductuales (Machado, 1997). En el experimento 1a, que compara tres historias que produjeron distintos niveles de respuesta de entrada, se corroboró que la condición típica de reforzamiento continuo antes de la introducción del programa de intervalo fijo, propicia el condicionamiento, únicamente, de los estados iniciales (Machado y Cevik, 1998), en tanto que el preentrenamiento en programas de intervalo aleatorio produce el condicionamiento de un mayor número de estados.

Estas diferencias en las condiciones de entrada cambiaron la trayectoria a estado estable durante las primeras sesiones del entrenamiento y en la parte inicial del intervalo: para los programas contingentes, se obtuvieron grandes decrementos en la tasa de respuesta durante el segmento inicial del IRI, acompañadas de aumentos más graduales de la tasa de respuesta en el segmento terminal del IRI, a medida que transcurría el entrenamiento (las distintas velocidades mencionadas por Machado y Cevik, 1998).

En lo que hace al programa de tiempo fijo, destacó la aparente facilitación en la adquisición de control temporal que produjo. Para esta condición, como era de

esperarse, las tasas de respuesta a la introducción del intervalo fijo, fueron muy bajas. Los datos del experimento 1b sugieren que la adquisición de la conducta temporalmente regulada tomó aproximadamente el mismo número de sesiones en las condiciones de tiempo fijo y tiempo variable. Ambos programas produjeron cambios similares en los principales indicadores de control temporal, a un ritmo parecido. Esto no es congruente con una interpretación de la teoría de la expectancia escalar de que la presentación a intervalos regulares de un evento biológicamente significativo sea suficiente para producir aprendizaje temporal, porque en ese caso hubiera ocurrido la facilitación en el grupo sometido a TF (se observaría un control temporal casi inmediato) pero no en el grupo TV. No obstante, es importante considerar que esta afirmación no es concluyente debido a las dificultades que se presentaron con la emisión de la respuesta a la introducción del programa IF.

En los programas de Tiempo Fijo y Tiempo Variable la inhibición de la respuesta a lo largo del intervalo a entrenar, generada por la entrega no contingente de reforzadores, dispuso condiciones en las que la extinción tuvo una participación menos activa durante el segmento inicial del intervalo a entrenar (en las primeras sesiones bajo IF), que en las condiciones de preentrenamiento con reforzamiento continuo o intervalo aleatorio (compárense los cambios en la tasa del segmento inicial para las historias en programas contingentes (Exp. 1a) y no contingentes (Exp. 1b)). Esta particularidad aunada al hecho de que la probabilidad de respuesta fue extremadamente baja, produjo el patrón de aparente facilitación. Aparente porque al contrastar las distintas etapas de la adquisición (las sesiones

seleccionadas para el análisis), no se observan diferencias cualitativas en las trayectorias entre grupos (Fig. 1.7).

El comportamiento de la pausa promedio, sesión a sesión, confirmó las diferencias observadas al inicio de la adquisición del control temporal. Además, independientemente de la historia y del valor del IF experimentado, la PPR en estado estable representó una proporción constante del intervalo entre reforzadores, resultado ampliamente reconocido en la investigación en este tipo de programas (Catania, 1970; Felton y Lyon, 1966; Schneider, 1969; Shull, 1979).

También y aunque únicamente se analizaron dos valores del programa de intervalo fijo, se confirmó que sus coeficientes de variación se mantuvieron constantes, para las tres condiciones del experimento 1a, resultado acorde con la ley de Weber.

Por último, a pesar de las diferencias iniciales, se observó que la historia de reforzamiento no afecta el estado estable en intervalo fijo, pues la ejecución final de todos los grupos reprodujo el patrón típico, un hallazgo consistente con la investigación sobre los efectos de la historia (Baron y Leinenweber, 1994; Freeman y Lattal, 1992; Cole, 2001).

En su conjunto, los resultados se interpretan como evidencia a favor del modelo de aprendizaje temporal que postula a los procesos de reforzamiento y extinción de las ligas entre los estados conductuales y la operante como determinantes de

la conducta. El control temporal en IF es el resultado de la combinación de un proceso excitatorio y otro inhibitorio, que culmina en el patrón compuesto de un período de pausa seguido por un período de respuesta a una tasa alta, hasta la entrega del reforzador.

Los siguientes dos experimentos abordaron problemas relacionados con la metáfora del reloj interno, utilizando el procedimiento de pico con interrupciones. Los experimentos exploraron aspectos de procedimiento (Kaiser, Zentall y Neiman, 2002) y características de la señal que indica la duración (Meck, 1984; Roberts, Cheng y Cohen, 1989; Buhusi y Meck, 2005) como explicación de los modos de operación del reloj.

En el Experimento 2, que manipuló la duración del IEE, no se pudo evaluar si la semejanza entre el IEE y la interrupción induce la re-inicialización del reloj, como lo predice la hipótesis de ambigüedad instruccional, pues se fracasó en igualar ambas duraciones. No obstante, se observaron cambios en el tiempo pico que fueron congruentes con la hipótesis del decaimiento del recuerdo propuesta por Cabeza de Vaca et al. Este resultado consistió en cambios en los tiempo pico intermedios a los predichos por los modos de operación de detención y re-inicio, atribuibles al decaimiento del recuerdo del tiempo transcurrido hasta antes de la interrupción.

El Experimento 3, diseñado para determinar el grado de control de cada una de las señales que componen el estímulo a estimar, indicó que la luz ganó control

sobre el tono, sin embargo, este resultado es contrario a lo reportado en otras investigaciones (Buhusi, Perera y Meck, 2005). Esto se pudo deber a que el tono resultó redundante o por un detalle del procedimiento, pues como ya se refirió, la luz estuvo asociada al reforzador, en condiciones que hicieron muy sobresaliente su presencia, por lo que es posible que eso haya provocado que ganara control sobre el tono. Los hallazgos del experimento sobre la estimación de una señal bimodal no pueden considerarse como concluyentes hasta que no se controle esta variable, en un estudio posterior. Pese a ello, estos resultados proporcionan apoyo a las afirmaciones de que otros procesos, cognoscitivos o de aprendizaje, están involucrados en la estimación temporal.

Por otra parte, ambos experimentos mostraron que el modo de operación del reloj estuvo determinado por la localización de la interrupción, resultado congruente con las predicciones de la hipótesis del decaimiento del recuerdo. Sin embargo, se propuso una explicación alternativa en términos de los procesos postulados por los modelos dinámicos de Hopson (1999, 2003) y Machado (1997), acerca de la determinación del curso y valor de la tasa de respuesta a lo largo del intervalo entrenado, específicamente su componente de activación. Se asume que la interrupción produce disminuciones de la activación que se reflejan, a su vez, en disminuciones de la tasa de respuesta y desplazamientos del tiempo pico congruentes con alguno de los modos de operación del reloj postulados. Esto sugiere la posibilidad de que la tasa de respuesta vigente al momento de la interrupción determine la magnitud del cambio en el tiempo pico. En particular, que en el procedimiento de pico con interrupciones, localizaciones muy tardías de la

interrupción, cuando la tasa de respuesta es baja de nuevo, resulten en un cambio en el tiempo pico equivalente a la detención del reloj, no a su re-inicio como lo predice la hipótesis de decaimiento del recuerdo (Cabeza de Vaca, et al.). Pero esta es una hipótesis que deberá ser evaluada experimentalmente.

En resumen, es evidente que aspectos como el curso del aprendizaje temporal y la operación del reloj interno son importantes para la integración de una teoría de la conducta temporalmente regulada, sin embargo, no han recibido la atención merecida de parte de las teorías más influyentes en el área, el primero, y de los modelos dinámicos actuales, el segundo.

El primer experimento proporcionó apoyo a una aproximación asociacionista del aprendizaje temporal, fortaleciendo sus afirmaciones acerca de los procesos involucrados en el mismo. Esta evidencia favorable motiva a tratar de determinar si el modelo puede explicar otros fenómenos en el área o las características moleculares del aprendizaje temporal, siendo éstos los objetivos de investigación que se proponen a largo plazo.

Los dos experimentos sobre la operación del presunto reloj interno produjeron resultados consistentes con las explicaciones desarrolladas en el marco de la metáfora del reloj, pero se propuso una interpretación alternativa apelando a las formulaciones asociativas de algunos modelos híbridos. Quedan pendientes estudios que profundicen en el papel que juegan los marcadores temporales, las

señales compuestas y la memoria en el estudio de la estimación temporal, utilizando los procedimientos de pico y de pico con interrupciones.

En este proyecto se exploraron los aspectos de adquisición y modos de operación del reloj interno con el objetivo de contribuir al conocimiento en esas áreas y ampliar el espectro de hallazgos que pueden ser explicados con modelos híbridos (en particular el modelo LeT), candidatos a conformar una teoría de la estimación temporal, incorporada, a su vez, en una teoría general del aprendizaje.

ANEXO A

I. BASES NEUROFISIOLÓGICAS DE LA ESTIMACIÓN TEMPORAL

Estudios en estimación temporal siguiendo la tradición psicofísica han identificado dos propiedades ubicuas de la estimación temporal intervalar: la propiedad escalar, una forma fuerte de la ley de Weber y los mecanismos de comparación de razones (Gallistel y Gibbon, 2000; Gibbon, 1977). También se han estudiado los efectos de la temperatura y la densidad de reforzamiento sobre la velocidad del reloj interno para determinar sus mecanismos de compensación y regulación.

Uno de los objetivos de la neurobiología es el aislamiento de los sustratos neuronales de estas propiedades (Gibbon, Malapani, Dale y Gallistel, 1997; Hazeltine, Helmut e Ivry, 1997). Basados en estudios con drogas y lesiones, se ha propuesto un mapeo potencial entre los elementos de SET y las estructuras en el cerebro (Church, 1989; MacDonal y Meck, 2003; Malapani y Rakitin, 2003; Matell y Meck, 2000; Matell, Meck y Nicolelis, 2003; Meck, 1996). Específicamente, se propone que el output de las neuronas dopaminérgicas en la sustancia nigra pars compacta tiene un papel importante en la iniciación y el mantenimiento del proceso de integración temporal que involucra a circuitos córtico-estriados. Esta hipótesis se fortalece por el hallazgo de que la metaanfetamina, una droga estimulante que facilita la liberación de dopamina, acelera el reloj, mientras que el haloperidol, que bloquea los receptores de dopamina, lo enlentece (Maricq, Roberts y Church, 1981; Church, 1989). Un estudio demostró que la afinidad de distintas drogas neurolépticas con los receptores D2 de dopamina, predice el tamaño del desplazamiento a la derecha en las funciones de estimación temporal.

Pese a los avances, la comprensión de las bases neuronales de la estimación temporal es aún incompleta. La capacidad del cerebro de procesar el tiempo en el rango de segundos a minutos sigue siendo intrigante pues las propiedades electrofisiológicas básicas de las neuronas operan en una escala temporal de milisegundos. Para conseguir la detección de intervalos mucho mayores que los períodos de la oscilación de neuronas corticales y talámicas, se ha propuesto un modelo fisiológicamente realista que integra esta multitud de oscilaciones con un sistema de procesamiento tipo “perceptrón” en los ganglios basales (Matell y Meck, 2000; Matell et al., op cit).

El modelo se basa en la observación de que las neuronas espinosas del estriado reciben de 10 mil a 30 mil inputs provenientes de diversas áreas corticales y talámicas. Estas neuronas corticales y talámicas oscilan con una periodicidad media de 10 Hz., y podrían ser capaces de detectar y responder a patrones selectos de input cortical excitatorio. Este patrón particular se seleccionaría por potenciación y depresión a largo plazo, resultado, se cree, de la actividad dopaminérgica de la sustancia nigra pars compacta y del área tegmental ventral, en respuesta a una retroalimentación (Schultz, Apicella y Ljungberg, citados en Meck, 2003). Estas propiedades neurobiológicas del circuito corticoestriado se combinaron con el modelo de estimación temporal de “frecuencia de pulsos” (Miall, citado en Meck, 2003). El modelo asume se da una re-inicialización de un rango de inputs oscilatorios para poder codificar un tiempo específico a través de la ponderación selectiva de los pulsos que están activos en el tiempo criterio. De esta manera, el modelo podría codificar un intervalo grande con mecanismos

neuronales muy pequeños, utilizando la función de detección de coincidencias, que se supone realizarían los ganglios basales (Matell y Meck, 2000; Matell, et al., 2003). El flujo de información a través de circuitos corto-estriado-tálamo-corticales se ha observado en datos de imaginería de resonancia magnética funcional durante tareas de estimación temporal con humanos (Hinton, 2003). También se han propuesto explicaciones basadas en procesos de decaimiento dentro de la corteza prefrontal dorsolateral que conformarían el proceso central del reloj (Lewis, 2002).

Otros estudios de electrofisiología del sistema nervioso atribuyen un papel importante a la actividad neuronal oscilatoria en la percepción, la integración sensoriomotora y la estimación temporal de movimiento. Estos estudios demostraron actividad de disparo en espigas de las neuronas de los ganglios basales en escalas de tiempo relativamente largas. La modulación de las periodicidades multisegundo en la tasa de disparo de las neuronas de los ganglios basales por agonistas dopaminérgicos y su correlación con estallidos theta en los electroencefalogramas transcorticales e hipocampales, sugieren la participación de estas y otras estructuras cerebrales (corteza frontal, cerebelo e hipocampo) en la coordinación de procesos cognoscitivos (Sakata y Onoda, 2003).

Otro componente importante de un circuito neuronal que incluye a la corteza cerebral, implicado en la estimación del tiempo, es el cerebelo. Se tiene evidencia de que el daño cerebelar altera el metabolismo cerebral en la corteza prefrontal. En los humanos las lesiones frontales, temporales, occipitales y subcorticales

afectan el procesamiento temporal, pues en tareas donde el tiempo es un parámetro muy importante, la variación negativa contingente (variación lenta de los potenciales cerebrales correlacionados con la estimación del tiempo que separa a dos estímulos), alcanza su máxima amplitud sobre las áreas prefrontales (Pouthas, 2003).

Ivry y Keele (1989) y Keele e Ivry (1990), reportan déficits en la tarea de “tapping” en ausencia de una señal externa, en pacientes con lesiones cerebelares de distinta etiología. A estos pacientes también se les dificulta la estimación de la duración de un estímulo auditivo y la estimación de la velocidad de un estímulo visual.

Al igual que en el caso de los ganglios basales se desconoce el papel preciso del cerebelo en la estimación temporal intervalar. Enfermedades del cerebelo o intervenciones quirúrgicas producen un aumento de la variabilidad en el proceso de estimación, en tanto que intervenciones farmacológicas, lesiones y enfermedades en los ganglios basales, afectan el reloj y la memoria. Algunos teóricos argumentan que la disfunción del cerebelo puede inducir desregulación de la sintonización tónica talámica, que interrumpe la recaudación de la información temporal mnemónica generada en los ganglios basales a través de los circuitos estriado-talámico-corticales (Casini e Ivry, 1999).

Los investigadores del área continúan analizando la contribución de estas estructuras en la estimación temporal intercalar y optimizando sus tareas conductuales para detectar las contribuciones de otras estructuras cerebrales.

Para los modelos de estimación temporal dos líneas de investigación de interés serían las que buscan determinar los procesos asociados al reloj y los isomorfismos conductuales-fisiológicos. En el primer caso, un elemento importante de la hipótesis del reloj se refiere a la apertura y cierre del paso de pulsos al acumulador. Evidencia fisiológica sobre este aspecto ayudaría a mejor entender las condiciones en que esta habilitación se puede considerar posible, dependiendo de los estímulos que indican el inicio y término del estímulo a estimar. Otro elemento fundamental se refiere a la frecuencia y naturaleza de los pulsos del generador, en particular en lo que respecta a su frecuencia asociada a variables del reforzador.

El segundo aspecto, los isomorfismos, es de particular importancia porque permitiría establecer las bases del ritmo o patrón de conducta, muy característico en diversas preparaciones de operante libre, como intervalo fijo, procedimiento de pico y de gap. Desde luego estos estudios plantean el reto adicional de realizar mediciones fisiológicas mientras el animal enfrenta una tarea.

Referencias

- Allan, L. G. (1979). The perception of time. Perception & Psychophysics, 26, 340-354.
- Allan, L. G. (1998). The influence of the scalar timing model on human timing research. Behavioural Processes, 44, 101-117.
- Baron, A. & Leinenweber (1994). Molecular and molar analyses of Fixed-interval performance. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 61, 11-18.
- Baron, A. & Leinenweber (1995). Effects of a variable-ratio conditioning history on sensitivity to Fixed-interval contingencies in rats. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 63, 97-110.
- Bizo, L. A., & White, G. (1995). Reinforcement context and pacemaker rate in the behavioral theory of timing. Animal Learning & Behavior, 23, 376-382.
- Brodbeck, D. R., Hampton, R. R., & Cheng, K. (1998). Timing behavior of black-capped chickadees (*Parus atricapillus*). Behavioural Processes, 44, 189-195.
- Buhusi, C. V. (2003). Dopaminergic mechanisms of interval timing and attention. En Warren H. Meck, Functional and neural mechanisms of interval timing, (pp.317-338). Florida: CRC Press.
- Buhusi, C. V. & Meck, W. H. (2000). Timing for the absence of a stimulus: the gap paradigm reversed. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 26, 305-322.
- Buhusi, C. V., Perera, D., & Meck, W. H. (2005). Memory for timing visual and auditory signals albino and pigmented rats. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 31, 18-30.

- Cabeza de Vaca, S., Brown, B. L., & Hemmes, N. S. (1994). Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 20, 184-198.
- Catania, A. C. (1970). Reinforcement schedules and psychophysical judgements : 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.
- Cerutti, D. T., & Staddon, J. E. R. (2004). Immediacy versus anticipated delay in the time-left experiment : a test of the cognitive hypothesis. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 30, 45-57.
- Church, R. M. (1978). The internal clock. En S. H. Hulse, H. Fowler & W. K. Honig. Cognitive processes in animal behavior. Hillsdale, NJ: Erlbaum
- Church, R. M. (1980). Short-term memory for time intervals. Learning and Motivation, 11, 208-219.
- Church, R. M. (1984). Properties of the internal Clock. En J. Gibbon & L. Allan (Eds.), Annals of the New York Academy of Sciences: Timing and time perception, pp. 566-582. New York: New York Academy of Sciences.
- Church, R. M. (1989). Theories of timing behavior. En S. B. Klein & R. R. Mowrer (Eds.), Contemporary learning theories, pp. 41-71. Hillsdale: NJ, Erlbaum.
- Church, R. M. (2002). Temporal Learning. En Steven's Handbook of Experimental Psychology. 3a Edición. Learning, Motivation and Emotion. Hal Pashler Editor in Chief y Randy Gallistel Volume Editor. EUA: John Wiley and Sons.
- Church, R. M., & Broadbent, H. A. (1990). Alternative representations of time, number, and rate. Cognition, 37, 55-81.

- Church, R. M., & Kirkpatrick, K. (2001). Theories of Conditioning and Timing. En Handbook of Contemporary Learning Theories. Robert R. Mowrer y Stephen B. Klein, Eds. Mahwah: New Jersey, Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Church, R. M., Meck, W. H., & Gibbon, J. (1994). Application of scalar timing to individual trials. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 26, 135-155.
- Church, R. M., Guilhardi, P., Keen, R., MacInnis, and Kirkpatrick, K. (2003). Simultaneous temporal processing. En Hede Helfrich, Ed. Time and Mind II. Information Processing Perspectives. pp.3-19. Göttingen: Hogrefe & Huber Publishers.
- Cole, M. R. (2001). The long-term effect of high and low-rate responding histories on fixed-interval responding in rats. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 75, 43-54.
- Droit-Volet, S. (2003). Temporal experience and timing in children. En Warren H. Meck, Functional and neural mechanisms of interval timing, (pp.183-208). Florida: CRC Press.
- Felton, M., & Lyon, D. O. (1966). The postreinforcement pause. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 9, 131-134.
- Fetterman, G., & Killeen, P. R. (1990). A componential analysis of pacemark-counter timing systema. Journal of Experimental Psychology: Human perception and performance, 16, 766-780.
- Fetterman, J. G., & Killeen, P. R. (1991). Adjusting the pacemaker. Learning and Motivation. 22, 226-252.

- Flesher, M., & 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 Warren H. Meck, Functional and neural mechanisms of interval timing, (pp.235-260). Florida: CRC Press.
- Freeman, T. J., & Lattal, K. A. (1992). Stimulus control of behavioral history. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 57, 5-15.
- Gallistel, C. R., & Gibbon, J. (2000). Time, rate and conditioning. Psychological Review, 107, 289-344.
- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. Psychological Review, 84, 279-325.
- Gibbon, J. (1991). Origins of Scalar Timing, Learning & Motivation, 22, 3-38.
- Gibbon, J., & Church, R. M. (1990). Source of variance in an information processing theory of timing. En H. L. Roitblat, T. G. Bever, & H. S. Terrace (Eds.), Animal Cognition. NJ: Lawrence Erlbaum.
- Guilhardi, P. & Church, R. M. (2004). Measures of temporal discrimination in fixed-interval performance: a case study in archiving data. Behavior Research Methods, Instruments, & Computers, 36, 661-669.
- Gibbon, J. Malapani, C., Dale, C.L., & Gallistel, C.R. (1997). Toward a neurobiology of temporal cognition: Advances and challenges. Current Opinion in Neurobiology, 7, 170-184.
- Grondin, S. (2001). From physical time to the first and second moments of psychological time. Psychological Bulletin, 127, 22-44.

- Grossberg, S. ,& Schmajuk, N. (1989). Neural Dynamics of Adaptive Timing and Temporal Discrimination During Associative Learning. Neural Networks, 2, 79-102.
- Harper, D. N., & Bizo, L. A. (2000). Mediation of timing accuracy by operant behavior. Behavioural Processes, 50, 143-154.
- Hazeltine, E. , Helmut, L. L., & Ivry, R. B. (1997). Neural mechanisms of timing. Trends in cognitive sciences, 1, 163-169.
- Hopson, W. J. (1999). Gap timing and the spectral timing model. Behavioural Processes, 45, 23-31.
- Hopson, W.J., (2003).General Learning Models: Timing without a Clock. En Warren H. Meck, Functional and neural mechanisms of interval timing, (pp.23-60). Florida: CRC Press.
- Kaiser, D. H., Zentall, T.R., & Neiman, E. (2002). Timing in Pigeons: Effects of the Similarity Between Intertrial Interval and Gap in a Timing Signal. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 28, 416-422.
- Killeen, P. R., & Fetterman, J. G. (1988). A behavioral theory of timing. Psychological Review, 95, 274-295.
- Killeen, P.R., & Fetterman, J.G. (1993). The behavioral theory of timing: Transition analyses. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 59, 411-422.
- Killeen, P. R., Fetterman, J. G., & Bizo, L. A. (1997). Times'causes. En C. M. Bradshaw y E. Szabadi, Time and behaviour. Psychological and neurobehavioural analyses, (pp.). Amsterdam, Netherlands: Elsevier.

- Killeen, P. R., Hall, S., & Bizo, L. A. (1999). A clock not wound runs down. Behavioural Processes, 45, 129-139.
- Killeen, P. R., & Weiss, N. A. (1987). Optimal timing and the Weber function. Psychological Review, 94, 455-468.
- Kirkpatrick, K., & Church, R. M. (1998). Are separate theories of conditioning and timing necessary?. Behavioural Processes, 44, 163-182.
- Lejeune, H. (1998). Switching or gating? The attentional challenge in cognitive models of psychological time. Behavioural Processes, 44, 127-145.
- Machado, A. (1997). Learning the temporal dynamics of behavior. Psychological Review, 104, 241-265.
- Machado, A. & Cevik, M. (1998) Acquisition and extinction under periodic reinforcement. Behavioural Processes, 44, 237-262.
- Machado, A. y Pata, P. (2005). Testing the Scalar Expectancy Theory (SET) and the Learning-to-Time Model (LeT) in a Double Bisection Task. Learning and Behavior, 33, 111-122.
- MacDonald, C. J., & Meck, W. (2003). Time flies and may also sing: cortico-striatal mechanisms of interval timing and birdsong. En Warren H. Meck, Functional and neural mechanisms of interval timing, (pp.393-418). Florida: CRC Press.
- Maricq, A., Roberts, S., & Church, R. (1981). Methamphetamine and time estimation. Journal of Experimental Psychology Animal: Behavior Processes, 7, 18-30.

- Matell, M. S., Meck, W. H., & Nicolelis, M. A. L. (2003). Integration of behavior and timing: anatomically separate systems or distributed processing?. En Warren H. Meck, Functional and neural mechanisms of interval timing. (pp.371-391). Florida: CRC Press.
- Matell, M. S., & Meck, W. H. (2004). Cortico-striatal circuits and interval timing: coincidence detection of oscillatory processes. Cognitive Brain Research, 21, 139-170.
- Matell, M. S., Meck, W. H., & Nicolelis, M. A. L. (2003). Interval timing and the encoding of signal duration by ensembles of cortical and striatal neurons. Behavioral Neuroscience, 117, 760-773.
- Meck, W.H. (1984). Attentional bias between modalities: Effects on the internal clock, memory, and decision stages used in animal time discrimination. En: Gibbon, J. Allan L.G. (Eds.), Timing and time perception (Ann. NY Acad. Sci., Vol. 423, pp. 528–541). New York Academy of Sciences, New York.
- Meck, W. H. (1996). Neuropharmacology of timing and time perception. Cognitive Brain Research, 2, 227-242.
- Meck, W. (2003). Functional and neural mechanisms of interval timing. (pp.xvii -xli). Florida: CRC Press.
- Meck, W., & Church, R. M. (1984). Simultaneous temporal processing. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 1, 1-29.
- Miall, R. C. (1993). Neural networks and the representation of time. Psychologica Belgica, 33, 255-269.

- Odum, A. L., & Schaal, D. W. (2000). The effects of morphine on fixed-interval patterning and temporal discrimination. Journal of the Experimental Analysis of behavior, 74, 229-243.
- Penney, T. B. (2003). Modality differences in interval timing: attention, clock speed, and memory. En Warren H. Meck, Functional and neural mechanisms of interval timing, (pp.209-233). Florida: CRC Press.
- Rammsayer, T., & Ulrich, R. (2001). Counting models of temporal discrimination. Psychonomic Bulletin & Review, 8, 270-277.
- Reid, A. K., and A. L., David (1998). A parsimonious alternative to the pacemaker/accumulator process in animal timing. Behavioural Processes, 44, 119-125.
- Richelle, M., & Lejeune, H. (1984). Timing competence and timing performance : a cross-species approach. En J. Gibbon & L. Allan (Eds.), Annals of the New York Academy of Sciences: Timing and time perception, pp. 254-268. New York: New York Academy of Sciences.
- Roberts, S., & Church, R. M. (1978). Control of an Internal clock. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 4, 318-337.
- Roberts, S. (1981). Isolation of an Internal Clock. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 7, 242-268.
- Roberts, S. (1982). Cross-modal use of an internal clock. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 8, 2-22.

- Roberts, S. (1998). The Mental Representation of Time: Uncovering a Biological Clock. En Don Scarborough & Saul Sternberg (Eds.), An Invitation to Cognitive Science: Methods, Models, and Conceptual Issues, pp. 53-106. Cambridge MA:MIT Press.
- Roberts, W. A., Cheng, K. & Cohen, J. S. (1989). Timing light and tone signals in pigeons. Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes, 15, 23-35.
- Schneider, B. A. (1969). A two-state analysis of fixed-interval responding in the pigeon. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 12, 677-687.
- Shull, R. L. (1979). The postreinforcement pause: some implications for the correlational law of the effect. En M. D. Zeiler & P. Harzem (Eds.) Advances in Analysis of Behavior. Vol. 1, Reinforcement and the organization of behavior, pp. 193-221. New York: John Wiley and Sons.
- Staddon, J. E. R. (2003). Adaptive behavior and learning, Second (internet) edition, New York: Cambridge University Press (1st edition. 1983).
- Staddon, J., & Cerutti, D. T. (2003). Operant conditioning. Annual Review of Psychology, 54, 115-144.
- Staddon, J. & Higa, J. (1999). Time and memory: Towards a pacemaker-free theory of interval timing. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 71, 215-251.
- Staddon, J. & Innis, N. (1969). Reinforcement omission on Fixed-interval schedules. Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 12, 689-700.

Stubbs, D. A., Dreyfus, L. R., & Fetterman, J. G. (1984). The perception of temporal events. En Allan, L. y Gibbon, J. (Eds.), Timing and Time Perception, pp. 30-42. NY: Annals of the New York Academy of Sciences.

Treisman, M. (1963). Temporal discrimination and the indifference interval: Implications for a model of the internal clock. Psychological Monographs, 77, Whole No. 576.

Wearden, J.H. (1999). "Beyond the fields we know...": Exploring and developing scalar timing theory. Behavioural Processes, 45, 3-21.

Wearden, J. H. (2003). Applying the scalar timing model to human time psychology: Progress and challenges. En Hede Helfrich, Ed. Time and Mind II. Information Processing perspectives, pp.21-39. Göttingen: Hogrefe & Huber Publishers.

Wearden, J. H. (2002). Traveling in time: a time-left analogue for humans. Journal of Experimental Psychology Animal Behavior Process. 28,200-8.

Wearden, J. H., & McShane, B. (1988). Interval production as an analogue of the peak procedure: evidence for similarity of human and animal timing processes. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 40B, 363-375.

Wearden, J. H., Parry, & Stamp, I. (2002). Is subjective shortening inhuman memory unique to time representations?. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 40B, 1-25.

Wearden, J. H., Edwards, H., Fakhri, M., & Percival, A. (1998). Why "sounds are judged longer than lights". Application of a model of the internal clock in humans. The Quarterly Journal of Experimental Psychology, 51B, 97-120.

Wixted, J. T. & Ebbesen E. (1991). On the form for forgetting. Psychological Science, 2, 409-145.

Zakay, D. (2000). Gating or switching? Gating is better model of prospective timing (a response to “switching or gating” by Lejeune). Behavioural Processes, 52, 63-69.