



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

**ADQUISICIÓN Y TRANSFERENCIA DEL CONTROL
TEMPORAL EN RATAS ADULTAS Y VIEJAS.**

TESIS

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
LICENCIADO EN PSICOLOGÍA

PRESENTA:

ALEJANDRO CHÁVEZ MENDOZA

DIRECTOR: DRA. JUDITH MARINA MENEZ DÍAZ

REVISOR: DR. FLORENTE LÓPEZ RODRÍGUEZ

SINODALES: DR. ÁLVARO TORRES CHÁVEZ

DRA. LIVIA SÁNCHEZ CARRASCO

DR. DANIEL ANTONIO GARCÍA GALLARDO

Tesis apoyada por el proyecto PAPIIT IN305412.

Ciudad Universitaria, Cd, Mx.

mayo 2021.





Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

Índice

Resumen.....	I
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Teorías de estimación y control temporal.....	2
1.2 Procedimientos experimentales para el estudio de la estimación y control temporal.....	4
1.3 Cambios en la estimación temporal relacionados con la edad.....	6
1.4 Adquisición del control temporal en Intervalo Fijo.....	15
2. PROPUESTA EXPERIMENTAL.....	24
3. COMPARACIÓN TRANSVERSAL: RATAS MADURAS VS ADULTAS.....	26
3.1 Método.....	26
3.2 Resultados.....	29
3.3 Discusión.....	42
4. COMPARACIÓN LONGITUDINAL: RATAS MADURAS VS ADULTAS CON EXPERIENCIA.....	44
4.1 Método.....	44
4.2 Resultados.....	45
4.3 Discusión.....	51
5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES.....	53
6. REFERENCIAS.....	58

Resumen

El presente trabajo analiza el posible efecto ocasionado por la edad en la adquisición y readquisición del control temporal, en ratas maduras, adultas y adultas con experiencia. Para ello, se realizaron dos comparaciones; en la primera, se contrastó la adquisición y el patrón de respuesta en dos grupos de ratas de diferentes edades, uno de 4 meses y otro de 12 meses. La segunda comparación evaluó la posible existencia de cambios en la velocidad de readquisición en la tarea temporal en un grupo de ratas en dos etapas del desarrollo, a los 4 y 12 meses. Para ello, se asignó a los sujetos de 4 y 12 meses de edad en dos grupos de seis animales cada uno, que fueron asignados a programas no contingentes Tiempo Aleatorio (TA10 o TA45) o a programas contingentes Intervalo Variable (IV10 o IV45), durante la fase de entrenamiento. Posteriormente, durante la fase de prueba, todos los sujetos fueron sometidos a un programa de Intervalo Fijo (IF90). Se ajustaron funciones exponenciales y sigmoideas a los datos de Vida Cuartilar (VC). Los resultados sugieren un efecto de la edad sobre la velocidad de adquisición del control temporal pero no sobre la precisión de la estimación y que la experiencia atenúa los efectos de la edad.

Palabras clave: envejecimiento, control temporal, adquisición, readquisición, ratas

1. INTRODUCCIÓN

Desde finales de los ochenta y principios de los noventa un amplio grupo de investigadores han intentado determinar cómo los seres vivos perciben el paso del tiempo y como adaptan su conducta a las regularidades temporales (Church, 1984; Gibbon & Church, 1984, 1990; Gibbon, 1977, 1991; Killeen & Fetterman, 1988; Block, 1990; Fetterman & Killeen, 1995). Esta capacidad de adaptación a regularidades temporales es considerada un mecanismo esencial para interactuar con el medio ambiente, por ejemplo, se requiere de esta habilidad para tomar decisiones, almacenar en la memoria duraciones de eventos previos, asociar eventos relevantes con el momento en el que suceden, coordinar de manera adecuada ciertos elementos de la conducta y relacionarlos con el ambiente para emitir una conducta en el momento adecuado (Gibbon, 1977, 1991; Gibbon & Church, 1984, 1990; Church, 1984; Block, Zakay & Hancock, 1998; Block, Hancock & Zakay, 2000; Carrasco, Bernal & Redolant, 2001; Espinosa, Miró, Cano & Buela-Casal, 2003). Ya que muchas situaciones perceptivas y cognitivas cotidianas llevan a los seres vivos a estimar duraciones que van de segundos a minutos, es importante comprender los procesos subyacentes y si existen o no diferencias individuales dentro de estos procesos (Block, Hancock & Zakay, 2000; Espinosa, Miró, Cano & Buela-Casal, 2003).

Zakay y Block (1996) y Meck (1996, 2002, 2006) han especulado que nuestro juicio temporal está influido por factores psicológicos, biológicos o la interacción entre ellos, el tipo de tarea que se debe realizar, el entorno en el que se realiza o las características psicológicas y físicas de los participantes (Carrasco, Bernal &

Redolant, 2001). En la última variable mencionada, se ha considerado a la edad cronológica como un factor que influye considerablemente cuando se juzga un intervalo temporal (Janet, 1877 citado en Carrasco et al. 2001; Espinosa, Miró, Cano & Buela-Casal, 2003).

En relación con la percepción del tiempo y la estimación de una experiencia descrita por personas de diferente edad, se ha reportado que con el paso de los años el tiempo físico pasa más rápido, lo que demuestra una falta de ajuste o sincronización entre la velocidad del tiempo físico y el tiempo subjetivo o interno (Fraisse, 1984; Schroots & Birren, 1990). Esta experiencia subjetiva ha sido objeto de estudio en diversas investigaciones, utilizando modelos con humanos (Fraisse, 1984; Schroots & Birren, 1990; Block, Zakay & Hancock, 1998; Craik & Hay, 1999; Xu & Church, 2017) y animales (Hamm, Dixon & Knisely, 1984; Lejeune, Jasselette, Nagy & Peree, 1986; Meck, Church & Wenk, 1986; Lejeune, 1989; Soffié & Lejeune, 1991; Leblanc, Weyers & Soffie, 1996; Meck, 2006; Xu & Church, 2017).

1.1 Teoría de estimación y control temporal

Un aspecto importante en el fenómeno del control temporal es comprender cómo ocurre este tipo de aprendizaje. Para ello, uno de los diferentes marcos teóricos que se han propuesto para poder describir las propiedades del proceso cognitivo que opera cuando un sujeto es confrontado con una tarea de estimación temporal, es la Teoría de Expectancia Escalar o SET, por sus siglas en inglés (Gibbon, 1977, 1991; Church, 1984; Gibbon & Church, 1984, 1990; Gibbon, Church & Meck, 1984). La

teoría SET brinda una explicación de cómo los animales humanos y no humanos son capaces de estimar una duración después de un entrenamiento prolongado en procedimientos temporales (estado estable), postulando la existencia de un reloj interno. Este modelo supone la existencia de tres componentes: el reloj, la memoria y el módulo de decisión (Ver Figura 1; para una revisión ver Gibbon, 1977).

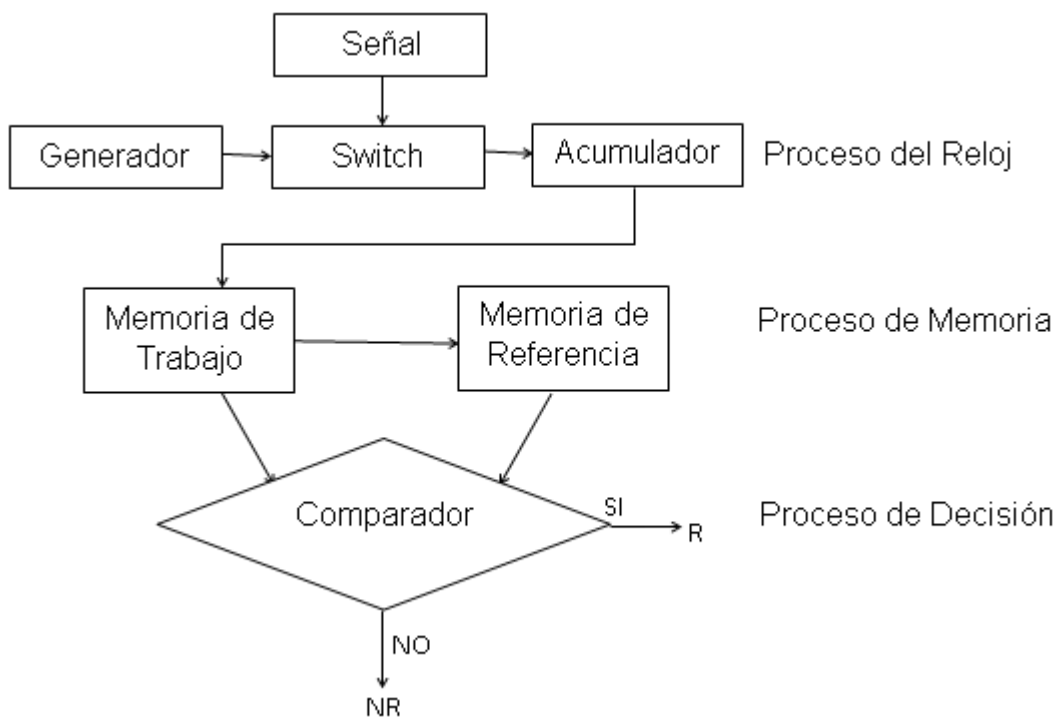


Figura 1. Componentes del modelo SET. Una señal (marcador temporal p. e., luz, comida), activa al generador de pulsos y cierra al Switch permitiendo el paso de los pulsos al acumulador; la representación de los pulsos en el acumulador pasa a memoria de trabajo y eventualmente a memoria de referencia (si fue reforzada). Posteriormente se repite el ciclo y los sujetos se enfrentan al proceso de decisión a partir de la comparación entre la información actual alojada en la memoria de trabajo y la información previamente codificada en memoria de referencia. Si ambas informaciones son semejantes, el sujeto dará la respuesta, si son discrepantes, no la presentará (adaptado de Gibbon, 1977).

Según SET, el envejecimiento deteriora la estimación temporal debido a procesos fisiológicos que influyen en la velocidad con que se producen los pulsos del generador (Block, Zakay & Hancock, 1998; Meck, 2006). También se ha considerado que la frecuencia con la que el generador emite pulsos puede disminuir (Meck et al., 1986; Wearden, Wearden & Rabbitt, 1997; Block et al., 1998; Lejeune et al., 1998; Meck, 2006). Esto puede deberse a una alteración de la actividad colinérgica en la corteza frontal, lo cual suele observarse en individuos añosos (Meck, Church & Wenk, 1986). Esta desaceleración de pulsos emitidos por el marcapasos del reloj interno podría producir un desajuste entre el tiempo interno y el tiempo físico. Por ejemplo, sobreestimación del tiempo, esto significa que hay un incremento en la constante multiplicativa (K^*) que transfiere el valor almacenado en la memoria de trabajo a la memoria de referencia (Meck, Church & Wenk, 1986).

1.2 Procedimientos experimentales para el estudio de la estimación y control temporal.

El proceso de cómo perciben el tiempo los humanos se ha estudiado utilizando procedimientos como estimación verbal, producción, comparación y reproducción (Bindra & Waksberg, 1956): en la estimación verbal se presenta un estímulo de cierta duración y los sujetos dan un estimado verbal en unidades temporales convencionales (segundos o minutos). En las tareas de producción los sujetos generan una duración (segundos o minutos) establecida por el experimentador. En los paradigmas de comparación se presenta un estímulo con determinada duración el sujeto debe informar si la considera más corta o más larga que la duración de un estímulo presentado con anterioridad. En tareas de reproducción los sujetos producen

una duración equivalente a otra presentada como modelo (por ejemplo, presionando un botón). Block (1989) menciona que los métodos de estimación verbal y producción son menos confiables que los de reproducción operativa. Los métodos de estimación verbal y producción se basan en una traducción de las duraciones en unidades de tiempo socialmente aprendidas, esto quiere decir que dependen de la relación entre el tiempo subjetivo y el tiempo físico (Clausen, 1950; Block, 1989). Por el contrario, los métodos de reproducción y comparación no requieren de dicha traducción (Block, 1989), de modo que los resultados obtenidos por estos últimos procedimientos están libres de esta posible confusión (Rammsayer, 1997).

Para estudiar el proceso de adaptación temporal en sujetos no humanos (ratas o palomas) se han utilizado diversos programas de reforzamiento que permiten estudiar la forma en que los animales distribuyen su respuesta a lo largo del tiempo. Ferster y Skinner (1957) y Catania (1970) utilizaron el programa de Intervalo Fijo (IF); en dicho programa se presenta una señal previamente asociada con la duración del programa, que está presente durante el intervalo y la primera respuesta emitida por el animal después de haber transcurrido un intervalo de tiempo, termina la señal y produce el reforzador. Ferster y Skinner (1957) también utilizan el programa de reforzamiento diferencial de tasas bajas (RDB); en este programa se proporciona el reforzador únicamente a las respuestas emitidas después de un período de tiempo fijo entre respuestas. Con ambos programas se obtienen ejecuciones claramente controladas por el tiempo; en el caso de los programas IF el patrón de respuesta muestra una pausa proporcional al valor del intervalo, seguida de una tasa de respuesta alta y creciente, mientras que en los programas RDB la respuesta se espacia de acuerdo

con el requisito impuesto. Por ello, suelen ser los programas elegidos cuando se estudia la conducta regulada por el tiempo.

1.3 Cambios en la estimación temporal relacionados con la edad

Como ya se mencionó, se han realizado diversas investigaciones en humanos tratando de explicar los posibles cambios que produce la edad en la estimación temporal. Mencionan que factores como la atención y la percepción tienen un gran impacto en la capacidad de estimar una duración (Block & Zakay, 1997; Warden, Warden & Rabbitt, 1997; Block, Zakay & Hancock, 1998; Carrasco, Bernal & Redolat, 2001). Un gran número de personas reportan percibir cambios en la velocidad del paso del tiempo conforme avanza su edad (Espinosa, Miró, Cano & Buela-Casal, 2003). Estos reportes sugieren que, con el paso de los años, el tiempo físico pasa más rápido, lo que demuestra una falta de ajuste o sincronización entre la velocidad del tiempo físico y el tiempo subjetivo (Fraisse, 1984; Jourbert, 1984). Sin embargo, esta hipótesis no ha sido apoyada por la evidencia (Joubert, 1984; Gallant, Fidler & Dawson, 1991). Los resultados obtenidos en diversos estudios que evalúan los posibles efectos de la edad en la estimación del tiempo son inconsistentes. Block y colaboradores (1998) revisan este fenómeno y reportan diferencias de edad en la estimación de tiempo, encontrando una mayor subestimación en el grupo de personas mayores a 60 años.

En contraste con estas investigaciones que reportan una subestimación de los intervalos de tiempo en participantes de mayor edad, otros estudios no han encontrado diferencias entre las estimaciones de participantes de mayor y menor

edad. Por ejemplo, Smythe y Golstone (1957), no encuentran diferencias significativas entre personas de 6 y 69 años de edad en la ejecución de una tarea de escalamiento de duración, utilizando estímulos auditivos de 0.02s a 20s, que incrementaban en intervalos de 1s. Warden, Warden y Rabbitt (1997), utilizando un procedimiento de bisección temporal, observaron que cuando se da retroalimentación a los participantes de mayor edad, estos estiman con más precisión en contraste con participantes de menor edad.

McCormack, Brown, Maylor, Richardson y Darby (2002), y Rakitin, Stern y Malapani (2005) mencionan que las deficiencias al estimar una duración en adultos mayores podrían deberse a una representación distorsionada de la duración de referencia mantenida en la memoria, en lugar de la dificultad para estimar la duración de un intervalo que transcurre actualmente. Droit-Volet, Lorandi y Coull (2019) formulan la hipótesis que la capacidad de estimar una duración es una habilidad primitiva fundamental que se conserva a lo largo de la vida, es decir, que no se ve afectada por el envejecimiento normal. Los juicios temporales pobres en adultos mayores pueden no reflejar las diferencias relacionadas con la edad en la capacidad de estimar una duración, sino las diferencias en los procesos cognitivos necesarios para emitir el juicio en general. Salthouse (2010, 2011, 2012) ha reportado disminución de habilidades cognitivas como atención, memoria de trabajo, velocidad de procesamiento en adultos mayores de 60 a 65 años.

Las investigaciones mencionadas sugieren que los resultados obtenidos dependen esencialmente de la metodología empleada así como del tipo y diseño del estudio (para una revisión ver Block & Zakay, 1997; Marmaras, Vassilakis & Dounias, 1995).

Así mismo, se puede observar que no existen resultados concluyentes acerca de los cambios producidos por la edad en la estimación del tiempo, por lo que la evidencia reportada es difícil de interpretar, además existen otras razones (económicas y de tiempo) que dificultan la realización de investigación sobre el envejecimiento y sus consecuencias. Por ejemplo, para poder estudiar cómo se van deteriorando las habilidades cognoscitivas y motoras en la estimación temporal es necesario comparar a un sujeto en diferentes etapas del desarrollo, lo que en humanos es muy tardado y costoso. Sin embargo, estas cuestiones se pueden abordar, de manera eficaz y no invasiva, a través de modelos animales en laboratorios experimentales (Lejeune, Jasselette, Nagy & Peree; 1986; Meck, 2002, 2006; Meck, Church & Wenk, 1986; Soffié & Lejune, 1991). Si bien existen claras diferencias en los conceptos básicos y las clasificaciones utilizadas en la investigación con humanos y modelos animales, la consideración de los resultados de la investigación no humana puede mejorar en gran medida la comprensión de los mecanismos subyacentes en la percepción del tiempo y el envejecimiento (Xu & Church, 2017; Church et al., 2014).

Una de las primeras investigaciones en envejecimiento usando modelos animales es el experimento realizado por Meck, Church y Wenk (1986), quienes utilizaron un procedimiento de pico (estimación temporal inmediata) para evaluar la memoria de los animales. Este procedimiento se divide en dos fases: en la primera fase se entrena al animal a responder a un programa de pico de 20 s, por 20 o más sesiones. En la segunda fase se prueba el recuerdo del tiempo reforzado, utilizando ensayos hasta tres veces más largos, en los que se omite el reforzador (ensayos pico); esto permite observar la tasa de respuesta máxima o tasa pico y la precisión de la estimación,

indicada por la amplitud de la curva. En la investigación mencionada se entrenó a dos grupos de diez ratas maduras (de 10 meses al inicio del experimento) en un procedimiento de Pico 20, cada grupo tuvo un periodo de entrenamiento de un mes. El procedimiento descrito se repitió de manera alternada por un mes. A un grupo se le administró arginina vasopresina (AVP) y al otro grupo solución salina como control, la administración se realizó 15 minutos antes del entrenamiento (ninguno de los sujetos recibió inyecciones después de los 13 meses de edad y todas las ratas se siguieron sometiendo al entrenamiento previamente descrito hasta los 30 meses). A los 30 meses de edad, los animales a los que se les administró solución salina mostraron un cambio en el tiempo pico que excedió en 5s al tiempo reforzado, dicho efecto no se observó a los 20 meses de edad. Estos animales, además, mostraron un aumento significativo en la variabilidad de la función de respuesta. Sin embargo, este incremento en la variabilidad fue escalar, es decir, la variabilidad observada en la ejecución de las ratas viejas fue mayor entre mayor fue su tiempo pico. Por otro lado, los animales a los que se les administró AVP, mostraron un cambio en el tiempo pico que fue más corto al tiempo reforzado cuando se evaluaron con 10 meses de edad. A los 20 meses la máxima tasa de respuesta fue igual al tiempo reforzado, manteniéndose a los 30 meses. El efecto de la edad en la estimación temporal se interpretó en términos de un incremento en la constante de memoria K^* , atribuido a una alteración de la actividad colinérgica en la corteza frontal debida a la edad (Meck, et al, 1986). Esta interpretación sugiere que el tiempo de la respuesta reforzada fue recordado como más largo que su duración real. Meck (2006) replicó este hallazgo, encontrando un aumento del 25% en la memoria de referencia en ratas de 26 meses, comparando su ejecución con ratas de 6 meses.

Lejeune et al., (1998) con el objetivo de replicar los datos descritos por Meck, Church y Wenk (1986), entrenaron a dos grupos de diez ratas, cada uno de 4 y 24 meses de edad, en un procedimiento de pico (ABAB), donde el tiempo reforzado varió dos veces entre 20s y 40s. Al igual que Meck (2006) y Meck et al. (1986), observaron que las ratas de mayor edad muestran el mismo desplazamiento hacia la derecha en el tiempo pico, además mostraron un aumento significativo en la variabilidad de la función de respuesta, pero a diferencia de lo reportado por Meck et al. (1986), este aumento en la variabilidad parece ser absoluto en lugar de proporcional. Lejeune y colaboradores (1998) mencionan que la diferencia en ejecución de ratas jóvenes y adultas puede deberse a cambios en la latencia para cerrar y abrir el switch que conecta el marcapasos con el acumulador. Por ejemplo, en ensayos IF las ratas viejas inician y paran de estimar una duración después que las ratas jóvenes, esto podría ser consecuencia de un déficit de atención por el envejecimiento. Esta idea fue apoyada por Jones et al., (1995) utilizando una tarea de tiempo de reacción de una serie de cinco elecciones, en donde reportan que los tiempos de reacción son más largos para los sujetos de mayor edad que para los sujetos de menor edad. Asimismo, mencionan que el déficit atencional en ratas viejas podía ser mediado por un cambio relacionado en mecanismos colinérgicos, similar al cambio bioquímico reportado por Meck y Church (1985) y Meck et al. (1986).

Además, se han realizado investigaciones utilizando modelos animales con el objeto de evaluar la posible pérdida de memoria en estimación temporal ocasionada por el envejecimiento. La mayoría de los estudios realizados con ratas muestran poca o ninguna evidencia de pérdida de memoria, esto puede deberse a que los

procedimientos de prueba utilizados fueron de “reconocimiento”, lo que significa que las respuestas de los sujetos están influidas por señales que se presentaron en la fase de aprendizaje previo (Lejeune, 1989). Sin embargo, se ha podido evaluar pérdida de memoria en estimación temporal utilizando procedimientos de IF y RDB, debido a que ambos procedimientos muestran señales que desencadenan la emisión de respuestas en la fase de prueba, pero no proporcionan señales relevantes al responder cuando se estima una duración (Lejeune, 1989).

Soffié y Lejeune (1991) evaluaron los efectos del envejecimiento en la regulación temporal y la memoria en un procedimiento de estimación temporal retrospectiva, utilizando un programa de RDB de dos palancas. En este procedimiento, el sujeto tiene que presionar una palanca (A) y después esperar un mínimo de tiempo para presionar otra palanca (B), con esto finaliza el ensayo y obtiene el reforzador. Si el animal presiona la palanca B antes del tiempo especificado, tiene que empezar un nuevo ensayo. Soffié et al. (1991) entrenaron a dos grupos de 10 ratas cada uno, de 7 y 25 meses de edad, en un programa RDB 5s de dos palancas. En la primera fase, entrenaron a los animales a responder a ambas palancas. En la segunda fase, los sometieron a un programa de reforzamiento continuo (CRF, por sus siglas en inglés) por cinco sesiones. Durante el CRF, cada secuencia de respuesta correcta de A-B fue reforzada. Posteriormente, para llegar a un RDB 5s se introdujeron retrasos progresivos (2, 2.5, 3, 3.5, 4, y 4.5 s) al CRF; la transición de cada retraso al siguiente se realizó después de alcanzar una eficiencia del 60% o después de cinco sesiones para el retraso de 5s (entrenamiento). Finalmente, 21 días después de que completaron el entrenamiento, se llevaron a cabo tres sesiones de RDB 5s para

probar la retención de la tarea temporal. Los resultados muestran que a las ratas de mayor edad les tomó más sesiones aprender la tarea DRL 5s. Sin embargo, los resultados de la prueba no mostraron deterioro en la memoria a largo plazo para la tarea de regulación temporal en ninguno de los dos grupos. Estos resultados concuerdan con lo reportado por Hamm, Knisely y Dixon (1983) y Lejeune (1989), para valores similares de 6s y 7s, respectivamente. Estos resultados apoyan la idea que la estimación temporal se conserva durante el envejecimiento. Soffié y Lejeune (1991), mencionan que la capacidad de estimar duraciones no se ve afectada por la edad, debido a que en su estudio no se muestran diferencias entre grupos en los tiempos entre respuestas A-B. Resultados similares fueron obtenidos por Lejeune (1989), utilizando un procedimiento estándar RDB de una palanca. Estos resultados contrastan con lo reportado por Meck, Church y Wenk (1986), quienes utilizando un procedimiento de pico 20s, encontraron un desplazamiento a la derecha en el tiempo pico, sugiriendo un deterioro relacionado con la edad, particularmente en la memoria temporal.

Por otra parte, Leblanc, Weyers y Soffie (1996), utilizaron un procedimiento de igualación a la muestra (estimación temporal retrospectiva), para evaluar los efectos de la edad en la velocidad de adquisición de una tarea de discriminación. En este procedimiento, el sujeto tiene que asociar un estímulo de duración corta o larga a una palanca en particular (p. ej. si se presenta un estímulo de duración corta, el sujeto tiene que presionar la palanca izquierda y si se presenta un estímulo de duración larga, tiene que presionar la palanca derecha). Leblanc et al., (1996) entrenaron a cuatro grupos de 10 ratas de 6, 12, 18 y 24 meses de edad a asociar la duración de

una señal bimodal (luz y sonido) de 2s o 10s con una u otra palanca. Para dicho procedimiento, primero se entrenó a los animales para presionar la palanca, posteriormente se sometió a todos los animales a la fase de prueba, en la cual se presentó el estímulo bimodal (2s o 10s) y al finalizar la señal se presentaron simultáneamente ambas palancas; se reforzó cada respuesta correcta, en las respuestas incorrectas solo se retiraban las palancas sin proporcionar el reforzador. Se presentó un intervalo entre ensayos de 30s. El criterio de adquisición fue de tres sesiones en las que la probabilidad de una respuesta correcta fuese significativa ($p < .05$, prueba binomial) para las dos palancas, con una diferencia de menos de 10% de respuestas correctas en la ejecución entre las palancas A y B. Los resultados mostraron que las ratas de 6 y 12 meses tardaron menos tiempo en alcanzar los criterios de adquisición, en comparación con las ratas de 18 y 24 meses. Sin embargo, no encontraron diferencias en el porcentaje de respuestas correctas e incorrectas en ninguno de los cuatro grupos, independientemente de la duración del estímulo. Esto quiere decir que las diferencias relacionadas a la edad evidenciaron un enlentecimiento en la adquisición, pero no un déficit en la capacidad de discriminar entre dos duraciones. Estos resultados apoyan la idea de que la capacidad de estimar duraciones se conserva al paso de los años (Soffié & Lejeune, 1991).

En resumen, estos estudios de estimación temporal retrospectiva indican que a mayor edad son necesarias más sesiones para alcanzar un criterio de adquisición de discriminación temporal, pero que una vez que dicha discriminación se ha aprendido, su recuerdo no se altera, hasta por lo menos 21 días después de haber sido adquirido y no haberlo experimentado nuevamente (Soffié & Lejeune, 1991).

Como se observa en los estudios previamente descritos, son escasas las investigaciones que evalúan los cambios en la estimación temporal relacionados con la edad, además de que cuando existen, utilizan procedimientos que evalúan la estimación temporal según distintas características (estimación inmediata o retrospectiva).

Una dificultad adicional de estas investigaciones en animales es que no existe un acuerdo sobre lo que debe entenderse por un animal viejo; por ejemplo, en un estudio realizado por Landfield et al. (1981) y Sapolsky et al. (1984) (citados en Meck, Church & Wenk 1986), suponen que las ratas pueden considerarse adultas entre los 10 y 13 meses de edad, pero por su parte Meck et al. (1986) consideran que las ratas son adultas a los 10 meses y viejas a los 30 meses de edad. En años posteriores (2006), este mismo autor consideró maduras a las ratas de 6 a 10 meses y viejas de los 26 a 30 meses. Leblanc, Weyers y Soffie (1996) optaron por utilizar ratas entre los 6 y 12 meses calificándolas como adultas, mientras que entre 18 y 24 meses eran calificadas como viejas. Un criterio que propone Church (comunicación personal, 2009) es establecer un porcentaje de longevidad respecto de la cepa, no una edad absoluta.

Comparar la conducta en procedimientos operantes entre miembros adultos y viejos de una especie (p. ej. ratas o palomas) se complica debido a que las tasas de respuesta son muy diferentes entre ellos: los sujetos viejos responden a tasas más bajas que los adultos, de manera que aquellos procedimientos que dependen de la tasa de respuesta pueden generar resultados confusos: por ejemplo, el paradigma de Reforzamiento Diferencial de Tasas Bajas o RDB, no resulta ser apropiado para este

tipo de comparaciones por esa razón (Soffié & Lejeune, 1991; Leblanc, Weyers & Soffié, 1996).

Adicionalmente, las investigaciones que evalúan a un sujeto en dos etapas de su desarrollo son escasas, sin embargo, existen ventajas al usar un diseño intra-sujeto: se obtiene más información de cada sujeto en un diseño intra-sujetos que en un diseño entre-sujetos, porque, en el primero cada sujeto contribuye a las puntuaciones dos o más veces, mientras que, en el segundo, cada sujeto sólo contribuye una puntuación en la variable dependiente. Como resultado, para alcanzar un cierto nivel de potencia estadística, se necesitan menos sujetos en un diseño intra-sujetos que en un diseño entre-sujetos. Cuando el costo de la obtención de sujetos es alto (dinero, tiempo y esfuerzo), el diseño intra-sujetos tiene una clara ventaja en este sentido. Otra ventaja es que cada sujeto sirve como su propio control por lo que se reduce el error de varianza: la variabilidad de diferencias individuales entre sujetos se elimina, en términos del error (Maxwell & Delany, 2004).

1.4 Adquisición del control temporal en Intervalo Fijo

Un tema central en la Psicología es el estudio del aprendizaje, el cual se puede identificar de dos maneras como producto y como proceso. Como producto se refiere a los cambios identificados en la conducta como resultado de la exposición prolongada a un conjunto de condiciones ambientales relativamente regulares. Como proceso se refiere al curso o trayectoria que sigue el comportamiento hasta llegar a dichos cambios (López, 2012). Existe una gran tradición de investigación sobre el curso del aprendizaje a medida que incrementa la experiencia en una tarea particular.

Por ejemplo, Newell y Rosenbloom (1981, citados en López, 2012) describieron cuantitativamente la relación entre la ejecución de una tarea y la experiencia (tiempo o práctica).

Utilizado una gran cantidad de tareas en la investigación de curvas de aprendizaje (para una revisión ver Heathcote, Brown & Mewhort, 2000 citados en López, 2012), se ha determinado como un buen indicador de aprendizaje el tiempo para concluir la tarea. Estas investigaciones contribuyeron a la generación de interesantes teorías (Véase, por ejemplo, Logan, 1995 citado en López, 2012).

Una tarea que permite estudiar las curvas de aprendizaje es el programa intervalo fijo (IF). Los cambios en la función de entrenamiento en un programa IF son un buen indicador de aprendizaje, relativamente similar a las tareas que toman como indicador el tiempo que toma concluir la tarea. En ambos casos, los incrementos en aprendizaje siguen una función con ganancias decrecientes. Por ejemplo, en un programa de intervalo fijo (IF), después de un número considerable de sesiones se produce una conducta temporalmente discriminada; esto ocurre siempre que el reforzador se presente transcurrido un tiempo fijo (p. e. 15s) después de una señal previamente asociada con la duración del programa y habiéndose emitido una respuesta por parte del organismo (López y Menez, 2009; López, Menez y Gallardo, 2014). La conducta temporalmente discriminada se caracteriza por una pausa a partir de que se presenta el marcador temporal y el inicio de la respuesta en la segunda mitad del intervalo (Fester & Skinner, 1957; Gentry, Weiss & Laties, 1983; Baron & Leinenweber, 1994). El patrón de respuesta resultante se considera manifestación del control temporal de la conducta, resultado de la frecuencia y periodicidad con la que se entrega el

reforzador (López, Menez y Gallardo, 2014). Esto indica que el animal, además de aprender la respuesta efectiva, también aprende el tiempo requerido, razón por la que se puede considerar como una tarea de aprendizaje o discriminación temporal. A diferencia del aprendizaje de tareas en las que el indicador del aprendizaje es el tiempo que toma en concluir la tarea (donde el tiempo para terminar la tarea disminuye), en el programa de IF el indicador es el tiempo de espera antes de responder (el tiempo de espera incrementa con la experiencia), sin embargo, en ambos casos las ganancias son decrecientes (López, 2012).

Cuando el interés se centra en la adaptación conductual al tiempo, la preparación más utilizada para estudiar el aprendizaje temporal es el programa de IF. Las regularidades del comportamiento observadas en diferentes especies sometidas a este programa de reforzamiento son bien conocidas; 1) Después de un periodo con pocas o ninguna respuesta el animal responde a una tasa relativamente constante. 2) La transición al período de respuesta ocurre, en promedio, a una proporción constante del valor del intervalo programado. 3) La varianza tiende a incrementar conforme incrementa el valor del intervalo programado, pero la media y la desviación estándar permanecen constantes (Lejeune, Richelle & Wearden, 2006). Estas propiedades cuantitativas han sido elementos importantes para el desarrollo de teorías de estimación temporal, por ejemplo, la teoría SET (Gibbon, 1997) y la teoría LeT (Machado, 1997). Aunque ambas teorías se basan en el principio de la invariancia en la escala del tiempo, difieren en la manera en que explican el fenómeno: En SET, el aprendizaje consiste en almacenar los pulsos asociados a la duración de un evento en distintos almacenes de memoria; mientras que en LeT el aprendizaje consiste en

fortalecer y debilitar las conexiones entre los distintos estados conductuales. López, Menez y Gallardo (2014) mencionan que estas teorías difieren en la forma en que conciben el curso que sigue la adquisición del control temporal de la conducta a lo largo del entrenamiento. En SET la determinación de la respuesta depende de un proceso psicofísico, de lo que se puede deducir que la estimación ocurre rápidamente y que la transición hacia la regulación de la conducta sería rápida. En LeT, la determinación de la respuesta depende de un proceso asociativo, por lo cual la transición de la conducta es gradual (López et al., 2014).

Cabe mencionar, que la investigación que evalúa el curso de la adquisición del control temporal es escasa. Recientemente, el análisis de la adquisición ha recibido atención por su importancia para poder identificar los factores involucrados en el aprendizaje temporal (Machado & Cevik, 1998; Guilhardi & Church, 2005). Ferster y Skinner (1957) y Baron y Leinenweber (1994), describen a detalle los cambios en el patrón de respuesta de un IF a lo largo de las sesiones, concluyendo que el patrón resultante era el de una pausa seguida por una tasa de respuesta positivamente acelerada (festón). Posteriormente, Machado y Cevik (1998) realizaron una investigación detallada y cuantitativa aplicando el modelo LeT (Machado, 1997) de manera exitosa, confirmando algunas observaciones propuestas por Ferster y Skinner (1957). Recientemente, López, Menez y Gallardo (2014), describen el curso de adquisición del control temporal de la conducta a lo largo del entrenamiento, presentando una evaluación de dos indicadores del momento de cambio: el punto de transición y la vida cuartilar (VC), a los que ajustan tres funciones de crecimiento: exponencial, hiperbólica y sigmoidea. Estos autores concluyen que la VC es un buen indicador del

control temporal de la conducta. López (2012) y López y Menez (2012) realizando análisis detallados del mismo tipo, encuentran que la VC tiene buen comportamiento a nivel de sesión y es sensible a los cambios en la asignación de la conducta en dos estados: uno con muy pocas o ninguna respuesta y otro con una tasa de respuesta alta.

En el reciente interés por estudiar los factores que determinan el curso del aprendizaje temporal en programas IF, hay una línea de investigación que estudia cómo las condiciones previas a la introducción de un programa IF alteran la ejecución de éste. Guilhardi y Church (2005) mencionan que la velocidad de adquisición del aprendizaje temporal puede variar dependiendo del entrenamiento previo a la fase de prueba. Una forma de establecer lo anterior es estudiar los efectos transitorios y/o a largo plazo del control temporal, variando las condiciones del entrenamiento y los valores del IF (fase de prueba). Varios investigadores han concluido que las historias de reforzamiento afectan la tasa de respuesta, el patrón temporal de la respuesta, la velocidad del aprendizaje y la tasa de aprendizaje temporal. Algunos estudios reportan que el IF produce tasas de respuesta altas y sostenidas si éste es precedido de programas de Razón Fija (RF) o Variable (RV), cosa que no ocurre si se somete al animal a programas de Reforzamiento Diferencial de Tasas Bajas (RDB) o de entrenamiento regular en programas de reforzamiento continuo (o CRF, por sus siglas en inglés) (Urbain, Poling, Millan & Thompson, 1978; Johnson, Bickel, Higgins & Morris, 1991; LeFrancois & Metzger, 1993). En estudios más recientes, que constan de dos fases, donde la primera se conoce como entrenamiento o historia de reforzamiento y consiste en someter al animal a programas de reforzamiento distintos

al IF, por un número relativamente grande de sesiones y la segunda, llamada de prueba o prueba de transferencia, que consiste en someter al animal a un programa IF por un número adicional de sesiones, se ha encontrado que la ejecución en estado estable es independiente de la historia de reforzamiento, pues en las sesiones terminales del entrenamiento en IF no se encuentran diferencias entre las ejecuciones (Cole, 2001; López y Menez, 2005, 2009 y Gallardo, López & Menez, 2012). Sin embargo, estos estudios indican que en las sesiones iniciales del entrenamiento en IF se tiene evidencia de que éste es sensible a la historia de reforzamiento (López y Menez, 2005; 2009).

Una forma de detectar dichas diferencias es mediante el análisis visual del patrón temporal cuando se somete a un animal a un IF, variando las condiciones de reforzamiento previas a éste: hay diferencias en la tasa y patrón de respuesta en las sesiones iniciales de IF, pero conforme transcurren las sesiones estas diferencias tienden a desaparecer, y en las últimas sesiones el patrón es el típico de los programas IF (Cole, 2001). Esta hipótesis fue corroborada por López y Menez (2012) al comparar la ejecución en programas IF30 e IF90, variando las historias en programas de reforzamiento continuo (CRF), Tiempo Fijo (TF) e Intervalo Aleatorio (IA). Concluyendo que, efectivamente, las historias de reforzamiento afectan la ejecución en IF, pero sólo en las sesiones iniciales, sugiriendo que la ejecución final en IF se puede alcanzar por diferentes trayectorias. Machado y Cevik (1998), por su parte, sugieren que el análisis de trayectorias conductuales en programas IF podría proporcionar información para determinar los procesos implicados en el aprendizaje temporal.

Respecto a la rapidez con que se desarrolla el control temporal de la conducta, Machado (1997), Guilhardi y Church (2004) mencionan que la velocidad de adquisición de un aprendizaje temporal puede variar dependiendo de la experiencia previa. Urbain, Poling, Millan y Thompson (1978), observaron que la adquisición de la discriminación temporal en un IF 15s es más lenta con historias de reforzamiento razón fija (RF), en comparación con una exposición previa a un entrenamiento de tiempo entre respuestas superior a 11s ($ITR > 11s$). Wanchisen, Tatham y Mooney (1989) observaron que la adquisición del control temporal en un IF 30s es más lenta si es precedida de un entrenamiento Razón Variable (RV) que de un entrenamiento regular. En un estudio posterior, López y Menez (2005) reportaron que el control temporal en IF se desarrolla más rápido si es precedido por un programa no contingente (TF) que por uno contingente (IV o RF 1). En general, la evidencia sugiere que la velocidad de adquisición del control temporal en IF depende del entrenamiento previo.

Estos mismos autores (López & Menez, 2005, 2012; Menez, 2006), observaron que la adquisición del control temporal parece facilitarse si es antecedita por una condición en la que el animal experimente la entrega periódica de alimento, mediante un entrenamiento con programas no contingentes TF, seguidos de una fase de prueba con programas contingentes de IF del mismo o distinto valor. De igual manera Trapold, Carlson y Myers (1965), observaron que la adquisición del control temporal en IF 120s es más rápida con historia TF que con historia TV. Esta facilitación tiene dos posibles orígenes: 1) que el animal esté aprendiendo algo sobre el tiempo de la entrega del reforzador en la fase de entrenamiento, 2) que el programa utilizado en el

entrenamiento produzca bajas tasas de respuesta a la introducción del IF, lo que facilita la aparición del patrón festoneado típico (López & Menez; 2012, Menez, 2006). Por ejemplo, en programas de reforzamiento TF contra RF1 o IV (López & Menez, 2005), o en programas ITR>11s contra RF (Urbain, Poling, Millan & Thompson, 1978).

Con el fin de evaluar estas posibilidades, Gallardo, López y Menez (2012) realizaron un estudio manipulando la contingencia y frecuencia del reforzamiento entrenando a ratas en programas no contingentes TA y programas contingentes IV, por 45 sesiones (Fase de entrenamiento), seguidos de una fase de prueba en la que se introdujeron programas contingentes de IF de valor distinto al presentado en la fase previa; la adquisición del control temporal parece facilitarse si el animal experimenta la entrega no contingente de alimento (TA). De acuerdo con dichos autores, esta facilitación se puede deber a que el programa contingente (IV) utilizado en la fase de entrenamiento, produce altas tasas de respuesta que deben ajustarse a la introducción del IF para producir el patrón apropiado para esta preparación; este patrón consiste en tasas bajas de respuesta al inicio del intervalo, seguida de una tasa creciente en la segunda parte del intervalo. Por su parte, los programas no contingentes utilizados en la fase de entrenamiento producen tasas bajas de respuesta; dichas tasas están vigentes en la introducción del IF y facilitan la aparición del patrón festoneado (ver Figura 2).

Una pregunta interesante, que deriva de los estudios del efecto de la historia de reforzamiento sobre el desarrollo del control temporal (Gallardo, López y Menez, 2012, López y Menez, 2005; 2009), es aquélla que compara el ajuste a estos programas que, aparentemente, facilitan o ralentizan dicho aprendizaje, en ratas de distintas edades, pues permitiría evaluar hasta qué grado la capacidad de aprender

duraciones y/o reajustarse a ellas, se puede ver afectada por el envejecimiento. Hasta ahora, las comparaciones se han realizado con base en la adquisición en un solo tipo de tarea temporal (procedimiento de pico, igualación a la muestra, RDB o IF), pero no se han evaluado los efectos “facilitadores” o “relantizadores” de esta adquisición, en distintas edades de los animales.

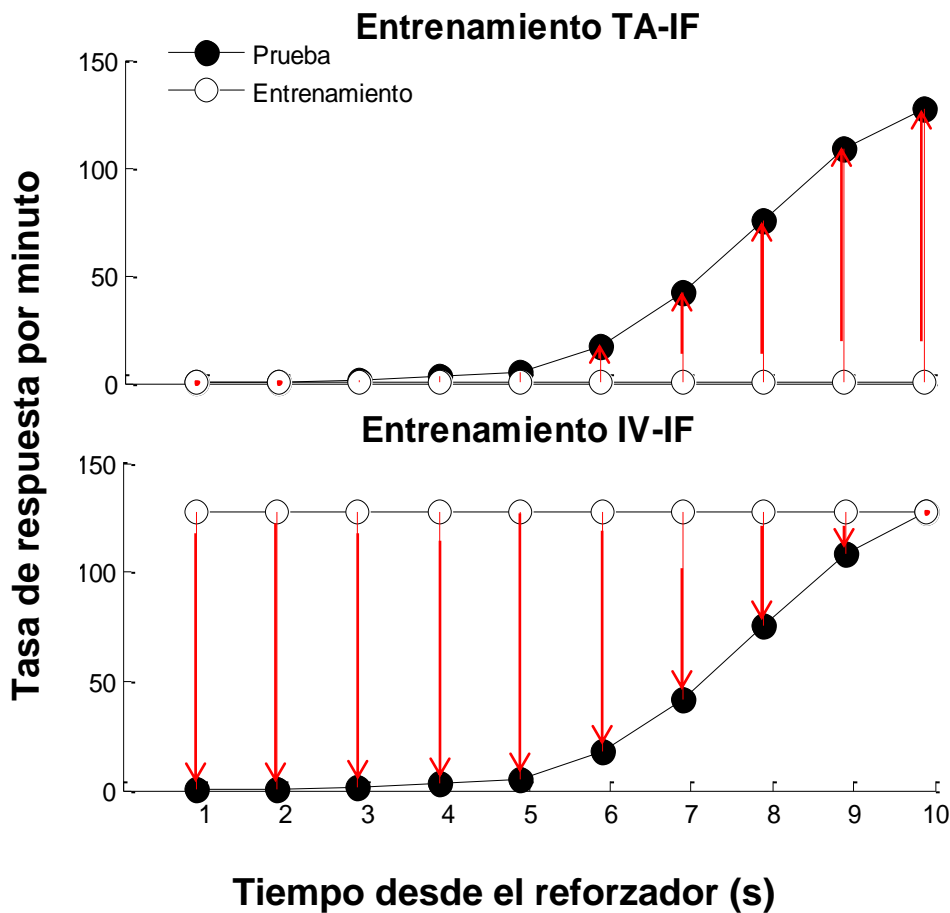


Figura 2. Representación de los cambios que ocurrirían en la tasa de respuesta bajo dos condiciones de entrenamiento previo a la introducción del programa de Intervalo Fijo (IF). En el eje de las abscisas se grafica el tiempo en segundos y en el de las ordenadas la tasa de respuesta por minuto. Los círculos vacíos indican la tasa de respuesta después de entrenamiento extendido en un programa de Tiempo Variable, (TA; gráfica superior) o de Intervalo Variable, (IV; gráfica inferior), mientras que los círculos llenos representan el patrón de respuesta esperado en estado estable en el programa de Intervalo Fijo. Las flechas indican la magnitud y dirección del cambio necesario para alcanzar dicho patrón.

2. PROPUESTA EXPERIMENTAL

Una forma de evaluar el efecto del envejecimiento sobre el control temporal consiste en estudiar la trayectoria de su adquisición, siendo importante también evaluarla en una etapa avanzada del desarrollo ontogenético del organismo, pues esto podría proporcionar más información acerca del proceso que permite la regulación temporal de la conducta y sus posibles deterioros asociados al envejecimiento.

El presente estudio pretende analizar si la edad afecta la velocidad de adquisición del control temporal, además de evaluar su deterioro a lo largo del tiempo, utilizando una tarea temporal IF, con ratas en diferentes etapas del desarrollo; en particular, la primera comparación pretende determinar si las ratas adultas (12 meses de edad) tardan más tiempo en aprender la tarea temporal que las maduras (4 meses de edad) y si existen diferencias entre sus tasas de respuesta. La segunda comparación pretende evaluar la posible existencia de cambios en la velocidad de readquisición en la tarea temporal, en ratas con experiencia previa.

Para poder evaluar la primera suposición (comparaciones transversales), se replicó el experimento de Gallardo, López & Menez (2012) en un grupo de ratas adultas, experimentalmente ingenuas y se contrastó su ejecución con los sujetos del experimento de Gallardo, López & Menez (2012). Para evaluar la segunda suposición (comparaciones longitudinales) se sometió a los mismos sujetos del experimento Gallardo, López & Menez (2012) al mismo procedimiento 8 meses después.

De esta manera se pudo realizar la comparación transversal de la adquisición entre dos grupos de 12 ratas, uno de 4 meses (sujetos del experimento de Gallardo, López & Menez, 2012) y otro de 12 meses de edad (sujetos ingenuos), permitiendo observar si las ratas de mayor edad tardaron más tiempo en adquirir el control temporal que las jóvenes y si existen diferencias entre sus tasas de respuesta. En la comparación longitudinal se analizó la ejecución del mismo grupo de ratas a los 4 (sujetos del experimento de Gallardo, López & Menez, 2012) y a los 12 meses de edad (n=11, un sujeto murió en el transcurso del experimento), para evaluar la posible existencia de cambios en la velocidad de readquisición del control temporal. En ambas comparaciones se evaluaron los efectos de la historia de reforzamiento sobre la adquisición del control temporal a la introducción del programa IF.

Las predicciones que se formularon fueron que, si la capacidad de estimar el tiempo se ve afectada por la edad, las ratas adultas tardarían más tiempo en adquirir control temporal que las ratas de menor edad en la fase de prueba; asimismo, si la edad afecta la tasa de respuesta, las ratas de mayor edad emitirían tasas de respuesta más bajas que las ratas de menor edad.

COMPARACIÓN TRANSVERSAL: RATAS MADURAS VS RATAS ADULTAS

3.1 Método

Sujetos

Doce ratas albinas macho de la cepa Wistar de 4 meses de edad (maduras), sujetos utilizados en el estudio de Gallardo, López & Menez (2012) y 12 ratas macho ingenuas de la misma cepa, de 12 meses de edad (adultas), al inicio del experimento. Todas provenientes del bioterio de la Facultad de Psicología de la UNAM, alojadas en cajas habitación individuales, bajo un ciclo luz-oscuridad de 12x12 hr, con acceso libre a agua, mantenidas al 85% de su peso bajo ingesta libre. Las sesiones experimentales se condujeron siete días a la semana, por las mañanas y parte de las tardes.

Aparatos

Seis cajas de condicionamiento operante, de 21.0 cm de altura x 30.5 cm de largo x 24.1 cm de ancho, marca MED-Associates. Cada caja contó con una palanca retráctil colocada en la parte izquierda de la pared frontal de la caja. El reforzador fue leche azucarada diluida en agua en una proporción de 1:2, el cual fue provisto por un dispensador colocado a la derecha del operando de respuesta. La activación del dispensador de líquido se señaló con el encendido de una luz (28 Volts) colocada encima del mismo. La iluminación general fue proporcionada por un foco (28 Volts), colocado en la parte trasera de la caja. El estímulo discriminativo fue un tono (64 dB)

emitido por un generador marca MED; también se utilizó un generador de ruido blanco (68 dB), para enmascarar ruidos externos. Se registró la conducta de husmeo mediante una fotocelda colocada dentro de la cámara en la que se presentaba el dispensador de líquido. Una computadora de escritorio marca Gateway 2000 con el programa MED PC-IV versión para Windows (Tatham Tatham, Davison & Zurn, 1991) y provista de una interfase MED, controló y registró los tiempos de ocurrencia de las respuestas del animal; los eventos experimentales se registraron en tiempo real, con una precisión a la centésima de segundo.

Procedimiento

Pre-entrenamiento

Todos los sujetos recibieron dos sesiones de entrenamiento al comedero; enseguida se moldeó manualmente la respuesta de oprimir la palanca mediante el procedimiento de aproximaciones sucesivas. La sesión finalizó a la entrega del reforzador 46 o después de transcurridos 60 min, lo que ocurriese primero. El reforzador consistió en la entrega de 0.01 μ L de una mezcla de leche azucarada diluida en agua, en una proporción de 1:2, que estuvo disponible por 3s en una cucharilla que se presentó al sujeto a través de un orificio ubicado en la parte derecha del operando de respuesta. La caja experimental estuvo iluminada con la luz general y la entrega del reforzador se señaló con el apagado de la luz general y el encendido de la luz del comedero. Un ruido blanco, utilizado para enmascarar los ruidos del exterior, se mantuvo encendido durante toda la sesión.

Fase 1. Entrenamiento (sesiones 1 a 45)

Se aleatorizó a los sujetos, tanto maduros como adultos, para conformar los siguientes 4 grupos, de 3 ratas cada uno (ver Tabla 1):

- 1) Grupo no contingente tiempo aleatorio 10s (TA10)
- 2) Grupo no contingente tiempo aleatorio 45s (TA45)
- 3) Grupo contingente intervalo variable 10s (IV10)
- 4) Grupo contingente intervalo variable 45s (IV45)

Tabla 1. Diseño para la comparación transversal. Cada grupo estuvo compuesto por tres ratas.

Edad	n	Fase de Entrenamiento
	3	Tiempo Aleatorio 10s
4 meses	3	Tiempo Aleatorio 45s
	3	Intervalo Variable 10s
	3	Intervalo Variable 45s
	3	Tiempo Aleatorio 10s
12 meses	3	Tiempo Aleatorio 45s
	3	Intervalo Variable 10s
	3	Intervalo Variable 45s

La sesión consistió en la presentación de 46 ensayos, organizados de la siguiente manera: cada ensayo comenzó con el encendido de un tono y la luz general. En los grupos no contingentes la entrega de reforzador se programó de manera aleatoria, el reforzador se administró en diferentes tiempos, pero en promedio siempre ocurrió a los 10s o 45s, según fuera el caso. En los grupos con entrenamientos contingentes el reforzador se entregó cuando los animales presionaron la palanca después de haber transcurrido el tiempo programado (IV10 o IV45).

Fase 2. Prueba (Sesiones 46 a 76)

Durante esta fase, todos los sujetos estuvieron bajo un programa contingente IF90. Los animales tuvieron que presionar la palanca para obtener el reforzador después de transcurridos 90s; una vez emitida la respuesta, se activó el dispensador de líquido. Cada sesión constó de 46 reforzadores. Los estímulos experimentados en la fase de entrenamiento se mantuvieron sin cambio en esta condición.

Este diseño permitió realizar las comparaciones entre-sujetos o transversales, comparando el control temporal desplegado por sujetos experimentales de diferentes edades.

3.2 Resultados

Con el registro del tiempo de las respuestas se calcularon los indicadores de tasa de respuesta durante el intervalo y vida cuartilar y se realizó el ajuste de algunas funciones, como se describe a continuación.

Adquisición

Como indicador de la velocidad de adquisición del control temporal en los programas IF (fase de prueba), se utilizó la vida cuartilar (tiempo que toma alcanzar un cuarto del total de respuestas emitidas durante el intervalo). Este indicador fue evaluado sesión a sesión. Se obtuvo el ajuste de una función exponencial (Guilhardi & Church, 2005) a los datos individuales.

$$y = (c - a)(1 - e^{-bn}) + a \dots\dots\dots (1)$$

Donde a es intercepto, b es escala y c es la asíntota. El intercepto indica la tasa inicial de respuesta. La escala se utiliza como medida de velocidad de aprendizaje, que describe como crece la curva (a mayor tasa de aprendizaje, menor es el tiempo para adquirir el control temporal). La asíntota es el nivel máximo de la ejecución, donde ya no se presenta ningún cambio (para una revisión, ver Guilhardi & Church, 2005).

En la Figura 3 se presentan los datos individuales, según el programa de entrenamiento, de la vida cuartilar (ordenada) para las primeras 20 sesiones de entrenamiento (abscisa) en IF90. En la parte superior de la figura se presentan las gráficas de las ratas maduras y en la parte inferior se presentan las gráficas de las ratas adultas. En la primera y segunda columna del panel se muestran los grupos de ratas que experimentaron un programa de reforzamiento no contingente (TA10 y TA45, respectivamente); en la tercera y cuarta columna se muestra a los sujetos que experimentaron un programa contingente (IV10 e IV45, respectivamente). En general, en todos los casos se observó la tendencia hacia un incremento de la vida cuartilar conforme transcurrían las sesiones, es decir, los animales comenzaban a emitir sus

respuestas en periodos más cercanos al momento de la entrega de reforzador (90s), siendo esto una evidencia de aprendizaje. El incremento de la velocidad de adquisición de la vida cuartilar es ligeramente más rápido para las ratas maduras que para las ratas adultas. Esta diferencia se muestra más marcada en las ratas que experimentaron un programa no contingente que en las ratas que experimentaron un programa contingente, sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la velocidad de adquisición (parámetro b) al tomar en cuenta la edad y el programa de entrenamiento previo de los sujetos ($F_{(1,20)} = 3.54, p = .07$).

Por otra parte, comparando la vida cuartilar en función del programa de entrenamiento, se encontró que había incrementos significativos de la velocidad de adquisición de la vida cuartilar para los sujetos que recibieron un programa no contingente (TA10 o TA45), en comparación con los que recibieron un programa contingente (IV10 o IV45), de manera independiente a la edad en la que se evaluó a los sujetos ($F_{(3,18)} = 5.02, p = .01$).

Además, la velocidad de adquisición del control temporal resultó más rápida para los grupos de ratas que se sometieron al programa con frecuencias de reforzamiento mayor (TA10 e IV10) que para los que se sometieron a un programa con frecuencias de reforzamiento menor (TA45 e IV45), en ambos grupos de edad. Los datos correspondientes a la mitad del valor asintótico (b), para cada grupo, se pueden verificar en la Tabla 2. Algunos ajustes arrojaron datos no significativos para este parámetro (sujetos 202, 194, 196, 348, 340, 346 y 351). El grupo de ratas adultas condición IV10 consta de 2 sujetos debido a que una rata falleció en el transcurso del experimento.

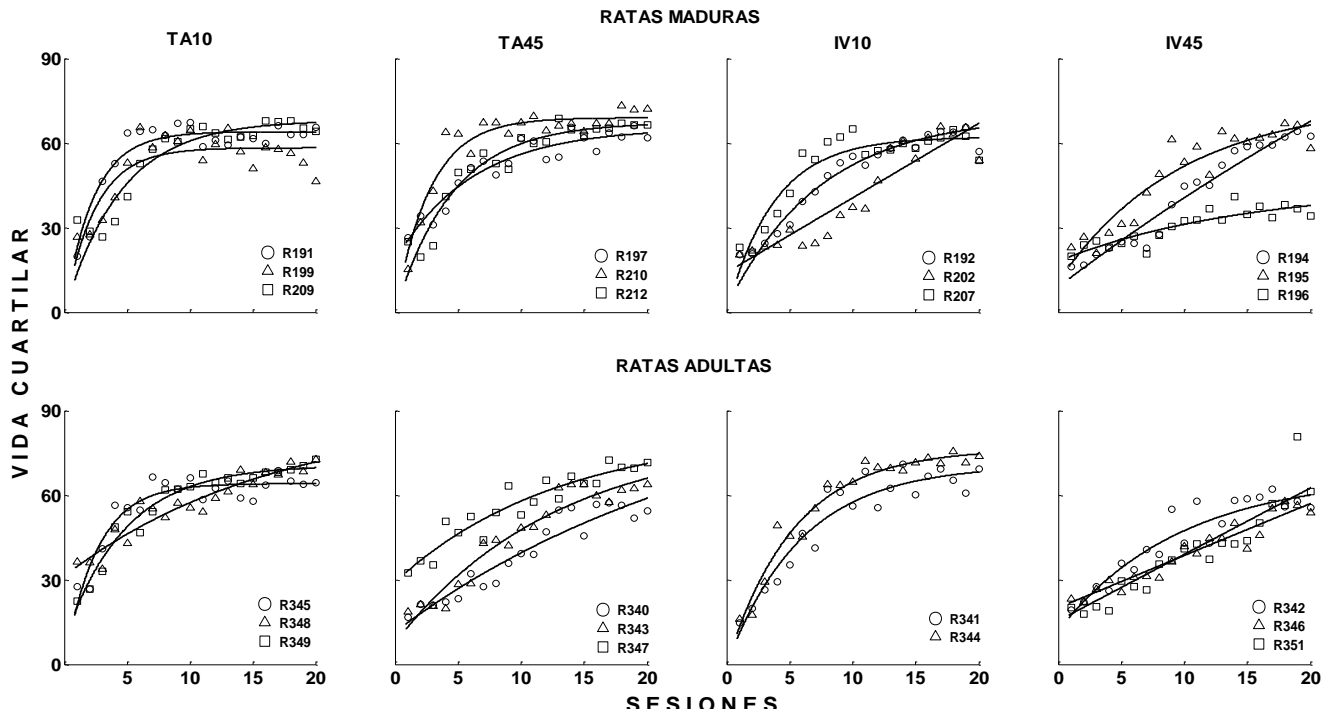


Figura 3. Vida cuartil promedio en función de las sesiones en entrenamiento IF90. Se observa la ejecución de los animales que fueron entrenados en programas TA10 (primera columna), TA45 (segunda columna), IV10 (tercera columna) e IV45 (cuarta columna). En el panel superior se observa la ejecución de las ratas maduras y en el panel inferior la ejecución de las ratas adultas. La línea continua representa la curva de mejor ajuste de la función exponencial. Los símbolos corresponden a los distintos sujetos en cada grupo.

MADURAS					ADULTAS				
Rata	Intercepto	Escala	Asíntota	R ²	Rata	Intercepto	Escala	Asíntota	R ²
TA10IF90									
S-191	2.22 (Fijo)	0.43 (0.33, 0.52)	63.99 (61.36, 66.62)	.89	S-345	2.22 (Fijo)	0.38 (0.29, 0.49)	64.13 (61, 67.25)	.84
S-199	2.24 (Fijo)	0.40 (0.24, 0.56)	58.31 (53.87, 62.76)	.66	S-348	31.21 (23.59, 38.82)	0.05 (-0.01, 0.12)	89.81 (50.67, 128.9)	.89
S-209	2.22 (Fijo)	0.22 (0.17, 0.27)	68.07 (63.73, 72.41)	.89	S-349	8.44 (-0.77, 17.67)	0.20 (0.14, 0.26)	70.68 (66.91, 74.46)	.95
TA45IF90									
S-197	18.31 (8.04, 28.58)	0.16 (0.75, 0.24)	65.37 (58.71, 72.02)	.89	S-340	11.44 (2.88, 20)	0.03 (-0.03, 0.10)	101.7 (-12.55, 216)	.89
S-210	2.22 (Fijo)	0.36 (0.28, 0.44)	68.98 (65.9, 72)	.90	S-343	7.67 (-2.56, 17.91)	0.07 (0.01, 0.14)	81.5 (52.34, 110.7)	.91
S-212	2.22 (Fijo)	0.21 (0.17, 0.26)	67.29 (63.4, 71.19)	.92	S-347	29.04 (20.35, 37.73)	0.07 (0.00, 0.15)	82.5 (57.41, 107.6)	.88
IV10IF90									
S-192	1.85 (-4.83, 8.53)	0.13 (0.09, 0.17)	69.89 (63.69, 76.09)	.96	S-341	2.22 (Fijo)	0.16 (0.11, 0.21)	70.72 (63.56, 77.87)	.90
S-202	14.02 (3.91, 24.13)	0.00 (-0.07, 0.07)	64.44 (-1.19, 1.20)	.87	S-344	2.22 (Fijo)	0.18 (0.15, 0.22)	76.44 (72.05, 80.84)	.96
S-207	2.22 (Fijo)	0.26 (0.19, 0.33)	62.11 (57.83, 66.38)	.85					

IV45IF90									
S-194	8.89 (2.28, 15.5)	0.01 (-0.02, 0.05)	228 (-299.9, 755.9)	.95	S-342	11.89 (1.10, 22.68)	0.10 (0.02, 0.18)	67.09 (49.86, 84.32)	.87
S-195	10.79 (-1.26, 22.85)	0.10 (0.02, 0.18)	74.52 (55.24, 93.8)	.88	S-346	20.05 (14.8, 25.31)	0.00 (-0.05, 0.05)	25.83 (-1.99, 2.04)	.92
S-196	18.08 (12.19, 23.97)	0.06 (-0.04, 0.17)	44.72 (22.09, 67.36)	.78	S-351	15.44 (5.62, 25.26)	0.00 (-0.08, 0.08)	8193 (-2.38, 2.40)	.86

Tabla 2. Valores estimados de la función exponencial a los datos de vida cuartilar promediados por grupo, a lo largo de cada sesión en la segunda fase del experimento (en paréntesis se encuentran los valores inferior y superior del intervalo de confianza al 95 %). En la última columna se presenta la R^2 (porcentaje de varianza explicada).

Patrón de respuesta

Con la intención de evaluar cómo afectaba la historia de reforzamiento (programas contingentes y no contingentes) al control temporal en la fase de prueba (IF90), se analizó el patrón de respuesta de los sujetos experimentales. Dicho análisis consistió en la cuantificación de la tasa de respuesta en función de bins temporales de $t/10$, contrastando la ejecución promedio de las primeras cinco sesiones y de las últimas cinco sesiones de la fase de prueba (IF90).

En la Figura 4 se pueden observar los patrones de respuesta promediados grupalmente para cada condición. En la parte superior del panel se presenta las gráficas de las primeras cinco sesiones y en la parte inferior las gráficas de las últimas cinco sesiones en la fase de prueba (IF90). En las primeras dos columnas se presenta a los grupos que experimentaron la condición no contingente (TA10 primera columna, y TA45 segunda columna) y en las últimas dos columnas se presenta a los grupos que experimentaron la condición contingente (IV10 tercera columna, e IV45 cuarta columna). Los círculos sólidos indican los grupos de ratas maduras y los círculos vacíos indican los grupos de ratas adultas. Se ajustaron las funciones sigmoideas según la siguiente ecuación:

$$Y = \frac{c}{1 + e^{-(x-a)/b}} \dots \dots \dots (2)$$

Donde el parámetro a es el centro e indica el tiempo en el que la tasa de respuesta alcanza la mitad del máximo de respuesta estimado. El parámetro b es un estimado de la escala, considerado como un indicador de la precisión del control temporal y el

parámetro c es un estimado de la tasa máxima de respuesta de la función. Las variables x y y representan el tiempo desde el reforzador y la tasa de respuesta, respectivamente (para una revisión ver Guilhardi & Church, 2004, 2005).

Todas las funciones sigmoideas en las últimas cinco sesiones resultaron con ajustes significativos, mostrando una varianza explicada de R^2 siempre mayor de .97 y con estrechos intervalos de confianza de los parámetros estimados. Los valores estimados de los parámetros de la función se muestran en la Tabla 3. El valor estimado del centro y la escala fue mayor para las ratas adultas que para las ratas maduras, excepto para la condición TA10, donde la escala y el centro fue mayor para las ratas maduras que para las ratas adultas. Sin embargo, evaluando los intervalos de confianza (IC), ninguna comparación resulta estadísticamente significativa. Los IC correspondientes a cada parámetro, se pueden verificar en la Tabla 3.

En general, se puede observar que no hay un deterioro en el control temporal para ninguno de los grupos. Independientemente de la edad o de la historia de reforzamiento se puede observar que todos los grupos muestran el patrón sigmoideo en las últimas sesiones, indicativo de control temporal. De manera particular se observa que, para los grupos que se sometieron a TA10, la tasa de respuesta de las ratas maduras empieza incrementar a partir del segundo bin y para las ratas adultas a partir del tercer bin. En la condición TA45, en ambos grupos la tasa de respuesta empieza incrementar a partir del quinto bin. Para la condición IV10, la tasa de respuesta de las ratas maduras empieza a incrementar a partir del segundo bin, mientras que para las ratas adultas empieza a incrementar a partir del sexto bin. En la condición IV45, en ambos grupos las ratas muestran tasas de respuesta bajas a partir

del primer bin y empiezan a incrementar a partir del sexto bin. Se observa una tasa de respuesta a lo largo de la sesión menor en las ratas adultas (círculos vacíos, Figura 4) que en las ratas maduras (círculos sólidos, Figura 4), de manera independiente a la historia de reforzamiento o al periodo de entrenamiento.

En cuanto al patrón de respuesta de las primeras cinco sesiones se compararon los IC, no se observaron diferencias estadísticamente significativas; esto es de esperarse ya que los sujetos están ajustando su conducta a la tarea temporal. Los valores de los parámetros estimados de la función sigmoidea se muestran en la Tabla 3. En general se puede observar que las diferentes edades e historias generaron diferentes patrones de entrada al IF (Figura 4). Para los grupos de menor edad, la tasa de respuesta fue más alta que para los sujetos de mayor edad. Respecto a la historia de reforzamiento se observa que los grupos que se sometieron a la condición contingente generaron tasas de respuesta más altas y sostenidas que los grupos que se sometieron a la condición no contingente. Para la condición TA10, la tasa de respuesta es menor en los primeros bines y va incrementando conforme finaliza el ensayo. Para la condición TA45, IV10 e IV45 la tasa de respuesta es alta y constante a lo largo de todo el intervalo.

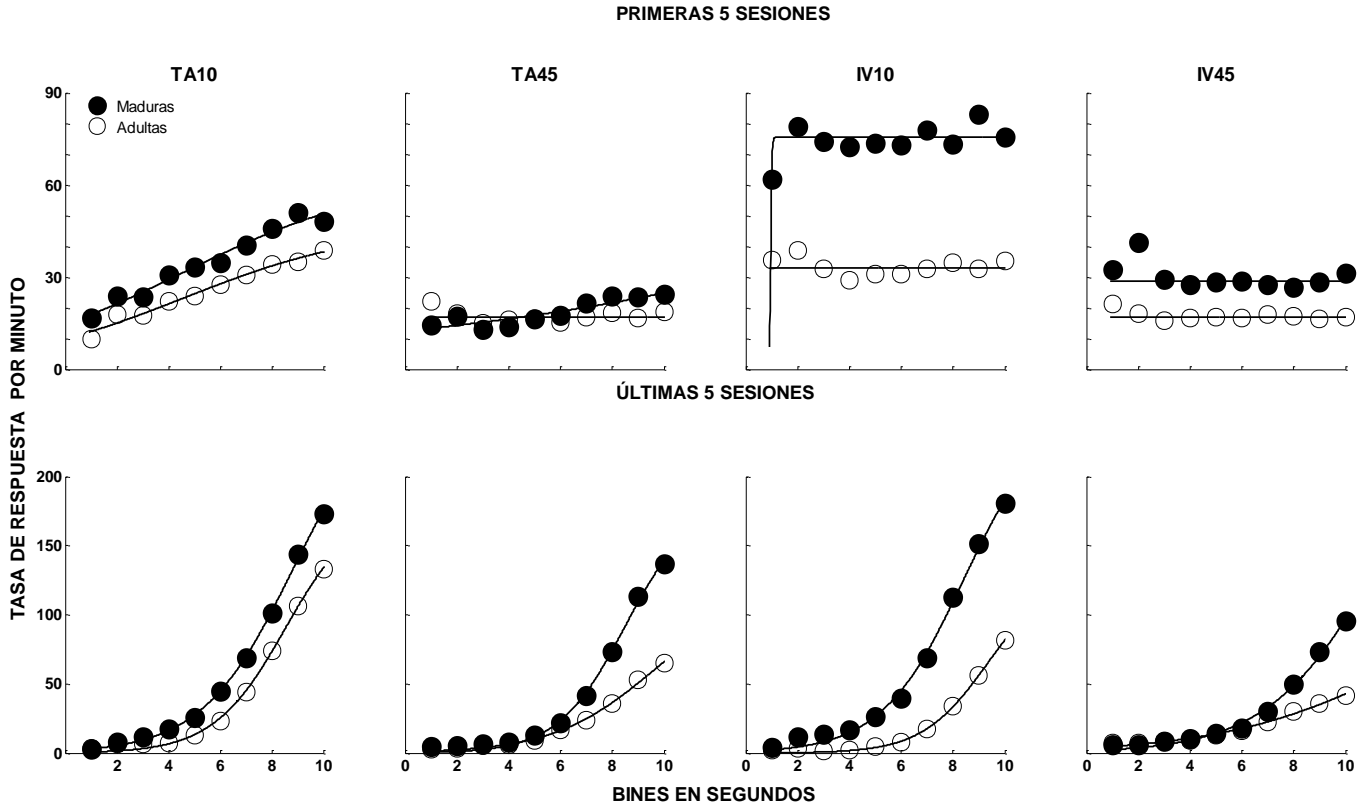


Figura 4. Tasa de respuesta promediada grupalmente en función del tiempo desde el reforzador, en bins temporales de $t/10$, obtenida en las primeras cinco sesiones (parte superior) y en las últimas cinco sesiones (parte inferior) de la fase de prueba (IF90). Los círculos sólidos indican los grupos de ratas maduras y los círculos vacíos indican los grupos de ratas adultas. La línea continua representa la curva de mejor ajuste de la función sigmoidea.

PRIMERAS CINCO SESIONES

Grupo	MADURAS				ADULTAS			
	Centro	Escala	Tasa máxima	R ² Ajustada	Centro	Escala	Tasa máxima	R ² Ajustada
TA10	4.56 (0.72, 8.41)	3.84 (1.31, 6.36)	62.89 (35.1, 90.67)	.94	4.62 (1.93, 7.32)	3.54 (1.76, 5.32)	46.6 (31.27, 61.94)	.96
TA45	71.73 (-746, 76)	14.32 (-58.74, 87.37)	1880 (-9.34, 9.37)	.76	0.35	0.001	17.11	-0.08
IV10	0.96	0.02	75.52	.41	-0.27	0.04	32.98	-0.85
IV45	0.43	0.01	0.01	.23	14 (-1.18, 1.18)	910.9 (-1.56, 1.56)	101.5 (-8.69, 8.69)	.16

ÚLTIMAS CINCO SESIONES

Grupo	Centro	Escala	Tasa máxima	R ² Ajustada	Centro	Escala	Tasa máxima	R ² Ajustada
	TA10	8.80 (7.98, 9.62)	1.76(1.49, 2.03)	264.9(208.4, 321.4)	.99	8.51(7.85, 9.17)	1.38(1.11, 1.65)	179(143.9, 215.8)
TA45	8.47 (7.67, 9.27)	1.29(0.94, 1.63)	181.9(135.7, 228)	.99	9.69(7.62, 11.7)	1.97(1.45, 2.48)	122.6(56.79, 188)	.99
IV10	8.40 (737, 9.44)	1.59(1.19, 1.99)	250.5(180.8, 320.3)	.99	9.34(8.65, 10)	1.25(1.04, 1.47)	130.3(97.4, 163.3)	.99
IV45	11.69(5.91, 17.46)	2.27(1.41, 3.04)	304.6(-189.8, 799)	.98	12.59(1.10, 24)	3.56(1.85, 5.25)	131.3(-131.3, 394)	.97

Tabla 3. Valores estimados del ajuste de la función sigmoidea a los datos de patrón de respuesta promedio sobre las primeras y las últimas cinco sesiones en la segunda fase del experimento (IF90). En paréntesis se encuentran los valores inferior y superior del intervalo de confianza al 95%. En la columna derecha se presenta la varianza explicada (R²).

Control temporal

Para comparar el control temporal en las últimas sesiones, entre grupos, se relativizó la tasa de respuesta de las últimas cinco sesiones en IF90 de acuerdo con la siguiente fórmula (Caetano & Church, 2009) y se calculó el error estándar:

$$Y_{\min} = Y_i - \min(Y) \dots \dots \dots (3)$$

$$Y_{\text{norm}} = Y_{\min} / \max(Y_{\min}) \dots \dots \dots (4)$$

En la Figura 5 se muestra la gráfica del control temporal desplegado por los animales. En la primera fila del panel se muestran los grupos de ratas maduras y en la segunda los grupos de ratas adultas. En las primeras dos columnas se muestran los grupos que experimentaron un programa de reforzamiento no contingente (TA10 y TA45, respectivamente); en las dos últimas columnas se muestran los sujetos que experimentaron un programa contingente (IV10 e IV45, respectivamente). No se observan indicios del posible deterioro del control temporal ocasionado por la edad: las ejecuciones entre ratas maduras y adultas son semejantes en forma. De manera general se observa el mismo patrón conductual, identificado como una tasa de respuesta cercana a cero en los primeros 5 bins y el inicio de la respuesta a partir de la segunda mitad del intervalo, con incrementos progresivos en su tasa, que alcanza su punto máximo hacia el final del intervalo.

De manera particular se observan ligeros cambios en los patrones de respuesta de algunos grupos. Las ratas maduras que habían sido entrenadas en el programa TA10 mostraron el inicio de respuesta antes de la mitad del intervalo: en el tercer bin. En la condición TA45, la respuesta comenzó a partir del sexto bin. Las ratas maduras con

entrenamiento IV10 comenzaron a responder entre el cuarto y el sexto bin del intervalo. Mientras que las que estuvieron en un programa IV45 comenzaron su respuesta a la mitad del intervalo y tuvieron una tasa de respuesta ligeramente mayor. El grupo de ratas adultas, en los programas no contingentes TA10 y TA45, comenzaron a responder a partir de la mitad del intervalo. En el programa contingente IV10 se mantuvo el patrón de respuesta descrito, mientras que en el programa IV45 se identifica un sujeto experimental que comenzó su respuesta en el segundo bin.

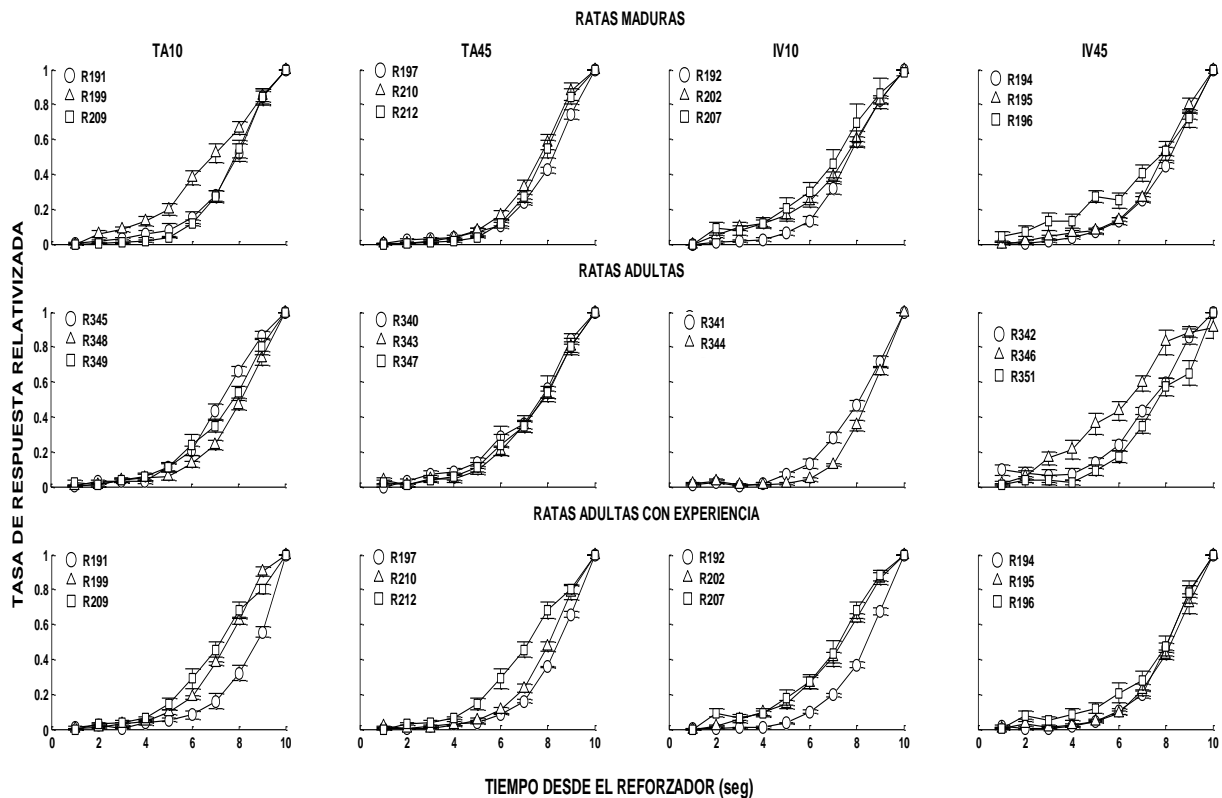


Figura 5. Tasa de respuesta relativa por sujeto en función del tiempo desde el reforzador, en bins temporales de $t/10$, obtenidos de las últimas cinco sesiones de entrenamiento en IF90. También se muestran los errores estándar.

3.3 Discusión

El diseño transversal permitió comparar la ejecución entre ratas maduras (4 meses de edad) y ratas adultas (12 meses de edad). Se trató de establecer si las ratas de mayor edad tardan más tiempo en adquirir el control temporal en un programa IF90, así como reconocer diferencias en el patrón de respuesta, según la edad de los animales y la historia de reforzamiento (programas TA10, TA45, IV10 e IV45). A continuación, se discutirán los resultados a detalle.

Para analizar la velocidad de adquisición del control temporal se utilizó la medida de vida cuartilar. Los resultados indican que las ratas en la condición no contingente (TA10 y 45) mostraron control temporal antes que las que estuvieron en un programa contingente (IV10 y 45), aunque esta diferencia fue más clara en el grupo de ratas maduras (ver Figura 3). De igual manera, las diferencias encontradas en función de la historia de reforzamiento se observaron tanto en las ratas maduras como en las ratas adultas, concordando con lo encontrado en reportes previos (Urbain, Poling, Millan & Thompson, 1978; López & Menez, 2005, 2009, 2012; Gallardo, López & Menez, 2012). Estos resultados sugieren que los mecanismos que posibilitan el aprendizaje y el control temporal se mantienen durante toda la vida, pero que los deterioros propios del envejecimiento afectan, particularmente, la velocidad a la que se aprenden y ejecutan las tareas de discriminación temporal, pero no la forma en que se procesa el tiempo ni, al parecer, el recuerdo de la duración. Esto significa que los sujetos de una edad avanzada requieren de más sesiones para aprender una tarea temporal (Soffié & Lejeune, 1991; Leblanc, Weyers & Soffie, 1996), pero una vez que se aprendió dicha tarea, el recuerdo no se altera. Esto concuerda con lo reportado por Soffié y

Lejeune (1991), quienes no reportan cambios en la tarea temporal después de 21 días de experimentarla.

El patrón de respuesta de IF en estado estable no mostró visualmente diferencias entre los grupos (Figuras 4 y 6), ambos grupos de edad mostraron el patrón de respuesta tipo festón, típico de los programas IF. En general, se observó un periodo con pocas o ninguna respuesta durante la primera mitad del intervalo, mientras que en la segunda mitad del intervalo había una tasa de respuesta creciente conforme finaliza el IF. Esto concuerda con lo reportado por varios autores, donde se ha mostrado que el patrón de respuesta en IF es independiente de la historia de condicionamiento, después de un entrenamiento relativamente prolongado (Baron & Leinenweber, 1994; Cole, 2001; López & Menez 2005, 2009; Gallardo, López & Menez, 2012; López, 2012).

En conclusión, la presente comparación aporta información sobre los efectos del envejecimiento en la estimación temporal. En general, se observa que a los sujetos de mayor edad les toma más sesiones aprender la tarea temporal que a los sujetos de menor edad. Estos resultados son consistentes con reportes previos, donde las ratas de mayor edad tardan más sesiones en alcanzar rendimientos equivalentes a las ratas jóvenes; este resultado se mantiene en diversas tareas, como DRL, igualación a la muestra y en ejecuciones de escape en laberintos de agua (Hamm, Knisely & Dixon, 1983; Hamm, Dixon & Knisely, 1984; Soffié & Lejeune, 1991; Leblanc, Weyers & Soffie, 1996). De igual manera, no se encontraron diferencias en las últimas sesiones en la capacidad de discriminar una duración. Independientemente de la edad, todas las ratas aprendieron la tarea, lo que apoya la idea de que la regulación

temporal se conserva durante el envejecimiento, sin embargo, el aprendizaje es más lento a una edad avanzada (Lejeune, 1989; Soffié & Lejeune, 1991; Leblanc, Weyers & Soffie, 1996). Adicionalmente se observó una menor tasa de respuesta en el grupo de ratas adultas, en contraste con los sujetos maduros, este resultado se mantuvo en las últimas sesiones del entrenamiento en IF90 (Lejeune, Jasselette, Nagy & Perre, 1986; Soffié & Lejeune, 1991; Leblanc, Weyers & Soffie, 1996).

3. COMPARACIÓN LONGITUDINAL: RATAS MADURAS VS RATAS ADULTAS CON EXPERIENCIA

4.1 Método

Sujetos

Se utilizaron 12 ratas del estudio anterior, las cuales pertenecían al grupo de ratas maduras (4 meses), dichos animales se mantuvieron alojados en su caja-habitación hasta cumplir 12 meses de edad. Las condiciones bajo las que se mantuvieron fueron iguales a las descritas previamente. Una vez que alcanzaron los 12 meses de edad, comenzaron los procedimientos experimentales.

Aparatos

Se utilizaron los mismos aparatos que en el experimento anterior.

Procedimiento

Fase 1. Preentrenamiento (sesiones 1 a 45).

Se replicaron las condiciones del estudio 1, manteniendo a los sujetos en los grupos de entrenamiento originales:

- 1) Grupo no contingente tiempo aleatorio 10 s (TA10)
- 2) Grupo no contingente tiempo aleatorio 45 s (TA45)

3) Grupo contingente intervalo variable 10 s (IV10)

4) Grupo contingente intervalo variable 45 s (IV45)

Las condiciones de entrenamiento son iguales a las referidas en el Experimento 1.

Fase 2. Prueba de Transferencia (Sesiones 46 a 76)

Durante esta fase, se sometió a todos los sujetos a un programa contingente intervalo fijo 90 s, manteniendo constantes las condiciones presentadas en el estudio anterior.

4.2 Resultados

Adquisición

Como indicador de la velocidad de adquisición del control temporal en el programa IF (fase de prueba) se utilizó la vida cuartilar, es decir, el tiempo que toma alcanzar un cuarto del total de respuestas emitidas durante el intervalo, comparando este indicador a lo largo de las sesiones. Se obtuvo el ajuste de una regresión lineal para encontrar la sesión en la que la pendiente se vuelve cero, esto se tomó como indicador de la sesión en que el animal aprendió la tarea temporal. Los valores de la pendiente se muestran en la Tabla 4.

Los valores de pendiente muestran que las ratas adultas con experiencia, reajustaron su conducta a la tarea temporal (IF90) en las tres primeras sesiones en los grupos TA10, TA45 e IV10 con excepción de un sujeto en cada condición de entrenamiento (ratas 202, 210, 191, respectivamente), donde el reajuste ocurrió después de la séptima sesión. Para el grupo IV45 todas las ratas muestran un valor superior a 8 sesiones. Esto sugiere que no hubo deterioro en el re-aprendizaje del control temporal, transcurrido varios meses desde su adquisición.

IV10IF90				
Sujeto	N de Sesión	Pendiente	límite inferior	límite superior
Rata 192	1	0.28	-0.26	0.82
Rata 202	7	0.46	-0.06	0.99
Rata 207	1	0.35	-0.62	1.33
IV45IF90				
Rata 194	14	1.44	-1.16	4.05
Rata 195	11	0.31	-0.06	0.69
Rata 196	9	0.76	-0.02	1.56
TA10IF90				
Rata 191	13	0.59	-0.11	1.31
Rata 199	2	0.45	-0.02	0.92
Rata 209	1	0.29	-0.04	0.64
TA45IF90				
Rata 197	3	0.43	-0.07	0.94
Rata 210	8	0.35	-0.08	0.8
Rata 212	1	0.29	-0.04	0.62

Tabla 4. Valores estimados de la pendiente del ajuste de regresión lineal promedio sobre todas las sesiones en la segunda fase del experimento (IF90). En las últimas dos columnas están los valores inferior y superior del intervalo de confianza al 95%.

Patrón de respuesta

Los resultados se analizaron de la misma manera que en el Experimento 1.

En la Figura 6 se presentan las gráficas del patrón de tasa de respuesta promedio en la fase de prueba (IF90), tanto de las primeras sesiones (parte superior), como de las últimas cinco sesiones (parte inferior). En la primera y en la segunda columna del panel se presentan las gráficas correspondientes a los grupos que experimentaron un reforzamiento no contingente (TA10 y TA45, respectivamente). En la tercera y cuarta columna del panel se presentan las gráficas correspondientes a los grupos que experimentaron un reforzamiento contingente (IV10 e IV45, respectivamente). Para lograr la comparación longitudinal, se contrastó la tasa de respuesta del mismo grupo de animales en diferentes puntos de la ontogenia: a los 4 meses, y a los 12 meses. Es importante resaltar que, en el segundo periodo de entrenamiento, el grupo ya conocía la tarea temporal, por lo que serán denominados adultos con experiencia. En la representación gráfica (Figura 6) se identificó con círculos sólidos al grupo de ratas maduras, mientras que los círculos vacíos representan el grupo de ratas adultas con experiencia.

Todos los ajustes resultaron significativos con una varianza explicada mayor de .98. El valor estimado del centro y la escala fue mayor para las ratas de edad madura que para estas mismas ratas, adultas con experiencia, indicando una mayor tasa de respuesta cuando los animales eran entrenados en la etapa madura. Sin embargo, evaluando los IC estas diferencias no resultaron estadísticamente significativas. Los datos correspondientes de los IC, para cada grupo, se pueden verificar en la Tabla 4.

En las últimas cinco sesiones se puede observar que no hay un deterioro en el control temporal; en general, los animales empiezan a responder a partir del quinto bin, a ambas edades. Sin embargo, para los grupos de ratas evaluadas en su edad madura, se observan tasas de respuesta ligeramente más altas a lo largo del intervalo, en todas las condiciones, que en estas mismas ratas adultas con experiencia. Además, la tasa de respuesta para las ratas con experiencia parece mantenerse a los 12 meses, con excepción del grupo que experimentó un entrenamiento TA45: para ese grupo, la tasa de respuesta es menor a los 12 meses que a los 4 meses de edad.

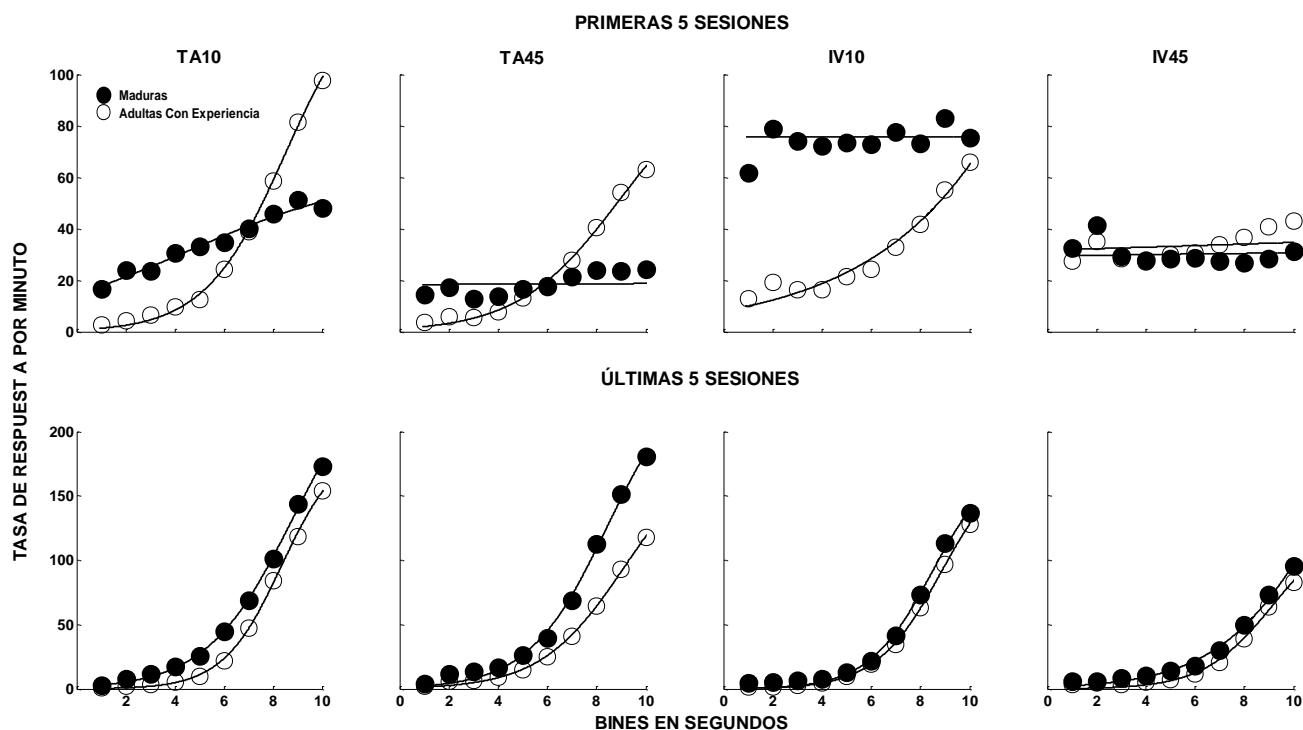


Figura 6. Tasa de respuesta promediada grupalmente en función del tiempo desde el reforzador en bins temporales de T/10, obtenidos en las primeras (parte superior) y últimas (parte inferior) cinco sesiones de la fase de prueba (IF90). Los círculos sólidos indican los grupos de ratas maduras y los círculos vacíos indican los grupos de ratas adultas con experiencia.

PRIMERAS CINCO SESIONES								
MADURAS					ADULTAS CON EXPERIENCIA			
Grupo	Centro	Escala	Tasa máxima	R ²	Centro	Escala	Tasa máxima	R ²
TA10	4.56 (0.72, 8.41)	3.84 (1.31, 6.36)	62.89 (35.1, 90.67)	.94	8.48 (7.76, 9.20)	1.63 (1.36, 1.90)	137.7 (111.4, 164)	.99
TA45	71.73 (-746, 76)	14.32 (-58.74, 87.37)	1880 (-9.34, 9.37)	.76	8.88 (7.21, 10.54)	2.02 (1.51, 2.54)	101.3 (62.2, 140.3)	.99
IV10	0.96	0.02	75.52	.41	35.73 (-1428, 1500)	4.8 (0.88, 8.71)	1.38 (-4.14, 4.17)	.95
IV45	0.43	0.01	28.6	.23	381.1 (-1.63, 1.63)	106.2 (-4.17, 4.20)	1180 (-1.60, 1.60)	.01
ÚLTIMAS CINCO SESIONES								
Grupo	Centro	Escala	Tasa máxima	R ²	Centro	Escala	Tasa máxima	R ²
TA10	8.80 (7.98, 9.62)	1.76(1.49, 2.03)	264.9(208.4, 321.4)	.99	8.34(8.05, 8.62)	1.19(1.05, 1.32)	191(173.1, 209.2)	.99
TA45	8.47 (7.67, 9.27)	1.29(0.94, 1.63)	181.9(135.7, 228)	.99	8.86(8.61, 9.10)	1.33(1.24, 1.41)	183(168.5, 197.4)	.99
IV10	8.40 (737, 9.44)	1.59(1.19, 1.99)	250.5(180.8, 320.3)	.99	9.12(8.30, 9.93)	1.69(1.44, 1.94)	189.3(146.3, 232)	.99
IV45	11.69(5.91, 17.46)	2.27(1.41, 3.04)	304.6(-189.8, 799)	.98	9.17(7.67, 10.6)	1.40(0.92, 1.89)	130.7(66.68, 194)	.98

Tabla 4. Valores estimados del ajuste de la función sigmoidea a los datos de patrón de respuesta promedio de las primeras y últimas cinco sesiones en la segunda fase del experimento (IF). En paréntesis se encuentran los valores inferior y superior del intervalo con el 95% de confianza. En la columna derecha se presenta la varianza explicada (R²).

Control temporal

Los resultados se analizaron igual que en la primera comparación.

En la Figura 5 se presentan las gráficas de tasa de respuesta relativizada y el error estándar por sujeto, tanto de las ratas en edad madura (fila superior) como cuando son adultas con experiencia (tercera fila). En las primeras dos columnas del panel se muestran los grupos de ratas que experimentaron un programa de reforzamiento no contingente (TA10 y TA45 respectivamente), en las dos últimas columnas se muestran a los sujetos que experimentaron un programa contingente (IV10 e IV45 respectivamente). En ninguno de los grupos se observó un deterioro del control temporal ocasionado por la edad. En general, se observó la misma tendencia, habiendo tasas de respuestas muy bajas o cercanas a cero al inicio del intervalo y a partir del quinto bin se observa un incremento progresivo en la tasa de respuesta, que aumenta conforme se aproxima la finalización del IF90. Esta ejecución se observó independientemente de la historia de reforzamiento o la edad de las ratas (ver Figura 5).

De manera particular se puede observar que los animales maduros con entrenamientos no contingentes comienzan a responder en la segunda mitad del intervalo. Aquellas ratas maduras con entrenamiento IV10 comienzan su respuesta ligeramente antes, es decir, alrededor del cuarto bin, mientras que el grupo con entrenamiento IV45 mantiene el inicio de la respuesta a la mitad del intervalo.

En cuanto a los grupos de ratas adultas con experiencia se observó que, en la condición TA10 y TA45, todas las ratas empiezan a responder a partir de la mitad del

intervalo. En cuanto a la condición contingente IV10 se observa que la respuesta comienza ligeramente antes, alrededor del cuarto bin. Los animales adultos con experiencia, expuestos al programa IV45 muestran una ejecución constante, con el inicio de respuesta en el sexto bin.

4.3 Discusión

El objetivo de la comparación longitudinal fue comparar la ejecución, en cuatro condiciones, de ratas evaluadas a los 4 y a los 12 meses de edad. Se analizaron los posibles cambios en la readquisición del control temporal. Para ello se sometió a ratas a los 4 y a los 12 meses de edad, a cuatro distintos programas (TA10 y 45 e IV10 y 45), posteriormente se introdujo el programa IF90. En general, no se observó un deterioro en la memoria a largo plazo, ya que, a los 12 meses de edad, las ratas con experiencia tardaron menos en readquirir el control temporal, es decir, al ajuste temporal se observó más temprano en los animales de 12 meses, en comparación con ese mismo grupo a los 4 meses, cuando fueron expuestos a la tarea por primera vez (ver Tabla 4).

Por otro lado, al comparar la ejecución de las ratas de 12 meses de edad sin experiencia (sujetos de la primera comparación) con las ratas de 12 meses con experiencia (ver Tablas 2 y 4), se evidenció que las ratas adultas con experiencia mostraron control temporal antes que las ratas adultas sin experiencia. Esto sugiere que el aprendizaje adquirido a los 4 meses puede facilitar el reaprendizaje a los 12 meses o que el entrenamiento a una temprana edad ayuda a atenuar los efectos del envejecimiento. Incluso una exposición más prolongada a las condiciones

experimentales puede ayudar a reducir las diferencias de rendimiento entre los participantes mayores y los más jóvenes (Lejeune & Pouthas, 1991).

En cuanto al control temporal en estado estable, no se observaron diferencias atribuibles a la edad o al entrenamiento. En general, se observó la misma tendencia para todos los sujetos en las últimas cinco sesiones (ver Figura 6), es decir, una emisión de respuestas muy baja durante la primera mitad del intervalo, para posteriormente irse incrementando de manera progresiva, hasta finalizar el intervalo de 90s. Esto concuerda con lo reportado por Soffié y Lejeune (1991) y Leblanc, Weyers y Soffie, (1996), en el sentido de que los deterioros del envejecimiento no afectan la forma en que se procesa el tiempo ni parecen afectar el componente mnemónico, entendido como la ejecución de un patrón conductual acorde a la duración de un intervalo aprendido previamente, y que los mecanismos que posibilitan el aprendizaje y el control temporal se mantienen, al parecer, al menos hasta los 12 meses de edad en modelos animales. Esto último, por comparación con lo reportado por Meck (2006), Meck, Church y Wenk (1985, 1986), quienes utilizaron un procedimiento de pico con sujetos de mayor edad (30 meses), con resultados que indican un déficit en la estimación temporal atribuible a la edad. Dada la heterogeneidad de resultados resulta interesante realizar más investigaciones con otros procedimientos de estimación temporal, por ejemplo, IF, DRL, etc., así como la evaluación de sujetos en edades más avanzadas, preferentemente utilizando un diseño longitudinal que compare la ejecución de sujetos en distintos periodos de la ontogenia.

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES GENERALES

La presente tesis tuvo como objetivo evaluar si la edad modifica la adquisición y readquisición del control temporal en ratas Wistar, utilizando una tarea temporal (IF). En particular, se intenta determinar si las ratas adultas tardan más tiempo en aprender la tarea temporal, en comparación con animales maduros, así como identificar si existen diferencias en los patrones de respuesta por sus trayectorias. Otro objetivo particular consistió en determinar cambios en la readquisición del control temporal, utilizando animales con experiencia previa en la tarea. Para ello se realizaron dos comparaciones: 1) La comparación transversal, que contrastó la ejecución de un grupo de animales maduros (4 meses de edad) contra otro grupo de animales adultos (12 meses de edad) y 2) La comparación longitudinal, que contrastó la ejecución de un mismo grupo de ratas, evaluado en dos momentos del desarrollo. La primera evaluación se realizó a los 4 meses y la segunda evaluación fue hecha a los 12 meses, tomando en cuenta que en dicho momento ya contaban con experiencia en la ejecución de la tarea temporal.

En ambas aproximaciones se compararon cuatro historias de reforzamiento, que produjeron distintos niveles de respuesta al introducir el programa IF. Como indicador de la velocidad de adquisición del control temporal se utilizó la vida cuartilar así como el patrón de respuesta.

En la comparación transversal se observó que las ratas de mayor edad tardan más sesiones en aprender la tarea temporal, en comparación con las ratas de menor edad, independientemente de la historia de condicionamiento previa al entrenamiento en IF.

Dicho resultado concuerda con otros estudios que utilizan distintas tareas de estimación temporal (Soffié & Lejeune, 1991; Leblanc, Weyers & Soffie, 1996), en el sentido de que a los sujetos de menor edad les toma menos sesiones aprender una tarea temporal; esto apoya la idea de que los deterioros del envejecimiento afectan únicamente la velocidad en que los sujetos aprenden las tareas de temporales, pero no la forma en la que se procesa el tiempo, ni el recuerdo de la duración (Soffié & Lejeune, 1991). Estos resultados son similares a lo reportado en humanos (Droit-Volet, Lorandi & Coull, 2019), en el sentido de que la capacidad de estimar una duración es una habilidad que se conserva a lo largo de la vida, es decir, que no se ve afectada por el envejecimiento normal.

En la comparación longitudinal se observó que a las ratas con experiencia les tomó menos sesiones readquirir el control temporal, es decir, la experiencia ayudó a que los animales de 12 meses tuvieran una mejor ejecución en menos sesiones, en contraste con la ejecución de animales ingenuos a los 4 o 12 meses de edad (ver Tabla 4). Este resultado sugiere que los mecanismos que posibilitan el aprendizaje y control temporal permanecen intactos en una edad avanzada. En este sentido, observamos que las ratas de 12 meses con experiencia tardan menos sesiones en reaprender la tarea temporal que un grupo de ratas de 12 meses sin experiencia. Esto se puede deber a que el aprendizaje adquirido a los 4 meses facilita el reaprendizaje a los 12 meses, podemos sugerir que el entrenamiento a una temprana edad ayuda a atenuar los efectos del envejecimiento.

Como se ha mencionado previamente, antes de la introducción del IF90, los animales fueron entrenados en 4 programas de reforzamiento diferentes, lo que permitió

analizar cómo era afectada la ejecución del programa IF90 según la historia de reforzamiento. Al analizar las primeras cinco sesiones de la fase de prueba (IF90), se pudo notar que las condiciones previas a la introducción del IF produjeron diferencias en la tasa de respuesta; esto se observa tanto en el grupo de ratas maduras como en el grupo de ratas adultas, aunque esta diferencia fue más clara en el grupo de ratas maduras. En general, se observa que los programas contingentes generan tasas altas y sostenidas durante las primeras sesiones en IF, a diferencia de los grupos que se sometieron a un entrenamiento no contingente, en los cuales se observan tasas de respuesta más bajas; además, desde las primeras sesiones se empieza a observar una tasa de respuesta baja en la primera mitad del intervalo, seguida de un incremento conforme avanza el intervalo (ver Figura 4). Esto concuerda con otros estudios (Urbain, Poling, Millam & Thompson, 1978; López & Menez, 2005, 2009, 2012; Gallardo, López & Menez, 2012). Sin embargo, conforme transcurren las sesiones, estas diferencias desaparecen en todos los grupos. El patrón típico de respuesta del IF que se observó en estado estable, fue independiente del entrenamiento previo o de la edad. Esto concuerda con lo reportado por Cole (2001) y López y Menez (2005). Las diferentes historias de reforzamiento pueden producir diferencias en la tasa y el patrón de respuesta en las primeras sesiones durante la fase de prueba, pero estas tienden a desaparecer conforme aumenta el entrenamiento. En la comparación transversal se observó que los animales de 12 meses, con experiencia, mostraban el festón típico del IF desde las primeras sesiones, con excepción del grupo con entrenamiento IV45. Dicho grupo mostró un patrón de respuesta similar a los 4 y 12 meses.

Por otra parte, Cabe resaltar que son escasas las investigaciones con animales que evalúan a un sujeto en dos o más etapas del desarrollo. Es importante mencionar que existen ventajas al utilizar este tipo de diseños longitudinales, por ejemplo, que cada sujeto sirve como su propio control, se reduce el error y se brinda más información acerca del proceso de envejecimiento. Otra ventaja del diseño longitudinal es que se necesitan menos sujetos para alcanzar un cierto nivel de potencia estadística (Maxwell & Delaney, 2004), reduciendo gastos (dinero, tiempo y esfuerzo) cuando el costo de la obtención de sujetos es alto.

En resumen, en el presente trabajo se recabó evidencia de que el envejecimiento no parece involucrar deterioro en el mecanismo encargado de procesar información temporal, al menos en el rango de edad evaluado. Si bien, podría considerarse que el grupo de ratas adultas no eran lo suficientemente viejas como para sostener o desechar con mayor contundencia la anterior afirmación, el resultado de una disminución importante en el volumen de la tasa de respuesta se puede considerar como indicador de que, en efecto, las ratas adultas ya presentaban algunas señales de envejecimiento. La diferencia en reaprendizaje sugiere un efecto de ahorro, similar al reportado en humanos (Warden, Warden & Rabbitt, 1997), lo que aporta validez al uso de modelos animales para analizar el envejecimiento humano (Xu & Church, 2017; Church et al., 2014).

Una limitación del presente estudio fue la complejidad de la manipulación experimental. En estudios futuros se sugiere simplificar la tarea temporal e incrementar la edad de los animales estudiados, pero manteniendo el análisis de la

trayectoria en los indicadores más sensibles del aprendizaje y control temporales utilizados en el presente estudio.

REFERENCIAS

- Baron, A., & Leinenweber, A. (1994). Molecular and molar analyzes of fixed-interval performance. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *61*, 11–18.
- Bindra, D., & Waksberg, H. (1956). Method and terminology in studies of time estimation. *Psychological Bulletin*, *53*, 155-159.
- Block, R. A. (1989). Experiencing and remembering time: affordance, context and cognition. En I. Levin y D. Zakay (Eds), *Time and Human Cognition: A life Span Perspective* (pp.333-363). Amsterdam: North-Holland.
- Block, R. A. (1990). Models of psychological time. In R. A. Block (Ed.), *Cognitive models of psychological time* (pp. 1–35). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Block, R. A., Hancock, P. A., & Zakay, D. (2000). Sex differences in duration judgments: a meta-analytic review. *Memory and Cognition*, *28* (8), 1333-1346.
- Block, R. A., & Zakay, D. (1997). Prospective and retrospective duration judgments: a meta-analytic review. *Psychonomic Bulletin and Review*, *4*, 184–197.
- Block, R. A., Zakay, D., & Hancock, P. A. (1998). Human aging and duration judgments: a meta-analytic review. *Psychology and Aging*, *13*, 584–596.
- Caetano, M. S., & Church, R. M. (2009). A comparison of responses and stimuli as time markers. *Behavioural Processes*, *81*, 298–302.
- Catania, A. C. (1970). Reinforcement schedules and psychophysical judgments: A study of some temporal properties of behavior. En W. N. Schoenfeld (Ed.), *The theory of reinforcement schedules*. New York: Appleton- Century- Crofts.

- Carrasco, M. C., Bernal, M. C., & Redolat, R. (2001). Time estimation and aging: a comparison between young and elderly adults. *International Journal of Aging and Human Development*, 52 (2), 91–101.
- Church, R.M. (1984). Properties of the internal clock. In J. Gibbon & L. Allan (Eds.), *Timing and time perception* (pp. 566- 582). New York: Annals of the New York Academy of Sciences, 423.
- Church, R. M., Miller, M. C., Freestone, D., Chiu, C., Osgood, D. P., Machan, J. T., Messier, A. A., Johanson, C. E., & Silverberg, G. D. (2014). Amyloid-beta accumulation, neurogenesis, behavior, and the age of rats. *Behavioral Neuroscience*, 128, 523–536.
- Clausen, J. (1950). An evaluation of experimental methods of time judgment. *Journal of Experimental Psychology*, 40, 756-762.
- 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.
- Craik, F. I. M., & Hay, J. F. (1999). Aging and judgments of duration: effects of task complexity and method of estimation. *Perception and Psychophysics*, 61 (3), 549–560.
- Droit, S, V., Lorandia, F., Coullb. J T. (2019). Explicit and implicit timing in aging. *Acta Psychologica*, 193, 180-198.

- Espinosa, L. F., Miró, E., Cano, M., & Buela-Casal, G. (2003). Age-related changes and gender differences in time estimation. Elsevier: *Acta Psychologica*, 112, 221–232.
- Fester, C. B. & Skinner, B. F. (1957). Schedules of reinforcement. New York: Appleton-Century-Crofts.
- Fetterman, J. G., & Killeen, P. R. (1995). Categorical Scaling of Time: Implications for Clock-Counter Models. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 21, 43-33.
- Fraisse, P. (1984). Perception and estimation of time. *Annual Review Psychology*, 35, 1–36.
- Gallant, R., Fidler, T., & Dawson, K. A. (1991). Subjective time estimation and age. *Perceptual and Motor Skills*, 72, 1275–1280.
- Gallardo, S., López, F. & Menez, M. (2012). Effect on fixed interval performance of prior exposure to random interval and random time reinforcement schedules. 35th Annual Meeting of the SQAB, Seattle, CO.
- Gentry, G. D., Weiss, B., & Laties, V. G. (1983). The microanalysis of fixed-interval responding. *J. Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 39, 327–343.
- Gibbon, J. (1977). Scalar expectancy theory and Weber's law in animal timing. *Psychological Review*, 83, 279- 325.
- Gibbon, J. (1991). Origins of Scalar timing. *Learnig & motivation*, 22, 3- 38.

- Gibbon, J., & Church, R. M. (1984). Sources of variance in information processing theories of timing. In W. L. Roitblat, T. G. Bever, & H. S. Terrace (Eds.), *Animal cognition* (pp. 465–488). Hillsdale, NJ: Erlbaum.
- Gibbon, J., & Church, R. M. (1990). Representation of time. *Cognition*, 37, 23- 54.
- Gibbon, J., Church, R. M. & Meck, W. H. (1984). Scalar timing in memory. In J. Gibbon, J. y. L. Allan (Eds.), *Timing and time perception* (pp. 52- 77). New York: Annals of the New York Academy of Sciences, 423.
- Guilhardi, P., & Church, R. M. (2004). Measures of temporal discrimination in fixed-interval performance: A case study in archiving data. *Behavior Research Methods, Instruments, and Computers*, 36 (4), 661-669.
- Guilhardi, P., & Church, R. M. (2005). Dynamics of temporal discrimination. *Learning and Behavior*. 33, 399–416.
- Hamm, R. J., Dixon, C. E., & Knisely, J. J. (1984). Long-term memory of a DRL task in mature and aged rats. *Experimental Aging Research*, 10 (1), 39-42.
- Hamm, R. J., Knisely, J. S., & Dixon, C. E. (1983). An animal model of age changes in short-term memory: The DRL schedule. *Experimental Aging Research*, 9 (1), 23-25.
- Jonson, L. M., Bickel, W. K., Higgins, S. T. & Morris, E. K. (1991). The effects of schedule history and the opportunity for adjunctive responding on behavior during a fixed-interval schedule of reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 55, 313-322.

- Jones, D. N. C., Barnes, J. C., Kirby, D. L., & Higgins, G. A. (1995). Age-associated impairments in a test of attention: Evidence of involvement of cholinergic systems. *Journal of Neuroscience, 15*, 7282-7292.
- Joubert, C. E. (1984). Structured time and subjective acceleration of time. *Perceptual and Motor Skills, 59*, 335–336.
- Killeen, P. R., & Fetterman, J. G. (1988). A behavioral theory of timing. *Psychological Review, 95*, 274-295.
- Leblanc, P., Weyers, M. H., & Soffié, M. (1996). Age-Related Differences for Duration Discrimination in Rats. *Physiology & Behavior, 60*, 555-558.
- LeFrancois, J. R. & Metzger, B. (1993). Low-response-rate condition history and fixed-interval responding in rats. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior, 59*, 543-549.
- Lejeune, H. (1989). Long-term memory for DRL: A comparison between weanling, adult and senescent rats. *Physiology & Behavior, 45*, 321-329.
- Lejeune, H., Ferrara, A., Soffie, M., Bronchart, A. M. & Wearden, J. (1998). Peak Procedure Performance in Young Adult and Aged Rats: Acquisition and Adaptation to a Changing Temporal Criterion. *The Quarterly Journal of Experimental Psychology 51b* (3), 193-217.
- Lejeune, H., Jasselette, P., Nagy, J. & Peree, F. (1986). Fixed interval performance in weanling rats: a comparison with adult and senile subjects. *Physiology & Behavior, 38*, 337-343.

- Lejeune, H., & Pouthas, V. (1991). Production de duree chez lapersonne agee: Comparaison avec le jeune adulte. *L'AnneePsychologique*, 91, 489-504.
- Lejeune, H., Richelle, M., & Wearden, J. H. (2006). About Skinner and time: Behavior-analytic contributions to research on animal timing. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 85, 125-242.
- López, F. (2012). Aprendizaje y control temporal: Adquisición y transferencia. En Paulo Guilhardi, Marina Menez y Florente López. (Eds.). *Tendencias en el estudio contemporáneo de la estimación temporal* (pp.13-40).DGAPA-Facultad de Psicología, UNAM.
- López, F., & Menez, M. (2005). Effects of Reinforcement History on Response Rate and Response Pattern in Periodic Reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 83 (3), 221-241.
- López, F., y. Menez, M. (2009). Control temporal en programas de intervalo fijo: efectos de historias de condicionamiento con programas de intervalo variable. *Revista Mexicana de Análisis de la Conducta*, 2, 109-128.
- López, F., & Menez, M. (2012). Transference effects of prior non-contingent reinforcement on the acquisition of temporal control on Fixed-Interval schedules. *Behavioural Processes*, 90 (3), 402–407.
- López, F., Menez, M., y Gallardo, P. (2014). Aprendizaje y control temporal a regularidades temporales del ambiente. *Conductual*, 2 (2), 26-38.
- Machado, A. (1997). Learning the temporal dynamics of behavior. *Psychological Review*, 104, 241-265.

- Machado, A. & Cevik, K. (1998). Acquisition and extinction under periodic reinforcement. *Behavioral Processes*, *44*, 237-262.
- McCormack, T., Brown, G. D. A., Maylor, E. A., Richardson, L. B. N., & Darby, R. J. (2002). Effects of aging on absolute identification of duration. *Psychology and Aging*, *17*, 363–378.
- Marmaras, N., Vassilakis, P., & Dounias, G. (1995). Factors affecting accuracy of producing time intervals. *Perceptual and Motor Skills*, *80*, 1043–1056.
- Maxwell, E. S., & Delany, D. H. (2004). *Designing Experiments and Analyzing Data*. Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Meck, W. H. (1996). Neuropharmacology of timing and time perception. *Cognitive Brain Research*, *3*, 227–242.
- Meck, W. H. (2002). Choline Uptake in the Frontal Cortex Is Proportional to the Absolute Error of a Temporal Memory Translation Constant in Mature and Aged Rats. *Learning and Motivation*, *33*, 88–104.
- Meck, W. H. (2006). Temporal memory in mature and aged rats is sensitive to choline acetyltransferase inhibition. *Brain Research*, *1108*, 168-175.
- Meck, W. H., & Church, R. M. (1985). Arginine vasopressin inoculates against age-related changes in temporal memory. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *444*, 453-456.
- Meck, W. H., Church, R. M., & Wenk, G. L. (1986). Arginine vasopressin inoculates against age-related increases in sodium-dependent high affinity choline uptake

- and discrepancies in the content of temporal memory. *European Journal of Pharmacology*, 130, 327- 331.
- Menez, M. (2006). Modelos en estimación temporal. (Tesis Doctoral). Facultad de Psicología. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Rakitin, B. C., Stern, Y., & Malapani, C. (2005). The effects of aging on time reproduction in delayed free-recall. *Brain and Cognition*, 58, 17–34.
- Rammsayer, T. H. (1997). On the relationship between personality and time estimation. *Personality and Individual Differences*, 23, 739-744.
- Salthouse, T. A. (2010). Selective review of cognitive aging. *Journal of the International Neuropsychological Society*, 16, 754–760.
- Salthouse, T. A. (2011). Neuroanatomical substrates of age-related cognitive decline. *Psychological Bulletin*, 137 (5), 753–784.
- Salthouse, T. A. (2012). Does the level at which cognitive change occurs change with age? *Psychological Science*, 23, 18–23.
- Schroots, J. J. F., & Birren, J. E. (1990). Concepts of time and aging in science. In J. E. Birren & K. W. Schaie (Eds.), *Handbook of the psychology of aging* (pp. 45–64). San Diego, CA: Academic Press.
- Smythe, E. J., & Goldstone, S. (1957). The time sense: A normative genetic study of the development of time perception. *Perceptual and Motor Skills*, 7, 49–59.
- Soffié, M., & Lejeune, H. (1991). Acquisition and Long- Term Retention of a Two- Lever DRL Schedule: Comparison Between Mature and Aged Rats. *Neurobiology of Aging*, 12, 25-30.

- Tatham, T. A., Davison, V. E., & Zurn, K. R. (1991). MED-PC Medstate Notation Version 2.0. *MED Associates Inc.*, Vermont
- Trapold, M. A., Carlson, J. G., & Myers, W. A. (1965). The effect of noncontingent fixed - and variable – interval reinforcement upon subsequent acquisition of the fixed – interval scallop. *Psychonomic Science*, 2, 261-262.
- Urbain, C., Poling, A., Millan, J., & Thomson, T. (1978). d-amphetamine and fixed-interval performance: Effects of operant history. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 29, 385-392.
- Wanchisen, B. A., Tatham, T. A., & Mooney, S. E. (1989). Variable – ratio conditioning history produces high and low – rate fixed – interval performance in rats. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 52, 167-179.
- Wearden, J. H., Wearden, A.J. & Rabbitt, P. M. A. (1997). Age and IQ effects on stimulus and response timing. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 23, 962- 979.
- Xu, R., & Church, R. M. (2017). Age-related changes in human and nonhuman timing. *Timing and Time Perception*, 5, 261–279.
- Zakay, D., & Block, R. A. (1996). The role of attention in time estimation processes. In M. A. Pastor, & J. Artieda (Eds.), *Time, internal clocks and movement* (pp. 143–164). Amsterdam: Elsevier Science B. V.