



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE PSICOLOGÍA

ELECCIÓN SUBÓPTIMA EN RATONES

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIADA EN PSICOLOGÍA

Presenta:

Adriana Rincón Rico

Director: Dr. Oscar Vladimir Orduña Trujillo

Revisor: Dr. Oscar Zamora Arévalo

Sinodales:

Dr. Florente López Rodríguez

Dr. Raúl Ávila Santibáñez

Dr. Felipe Cabrera González

Tesis apoyada por el proyecto PAPIIT IN306818

Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019





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.

El presente trabajo se realizó con el apoyo del Programa de Apoyo a Proyectos de Investigación e Innovación Tecnológica (PAPIIT).

PAPIIT-IN306818

A mi mamá, gracias por su apoyo incondicional en todos los planes que emprendí a lo largo de este camino, por su paciencia, por siempre impulsarme a ser mejor, por mostrarme el amor incondicional que solo una madre puede sentir, por enseñarme que los frutos del trabajo arduo del día a día siempre serán la mejor recompensa y porque simplemente sin todo su esfuerzo no sería nada de lo soy ahora, trabajaré todos los días para nunca defraudarla.

A la memoria de mi padre, me gusta pensar que lo que dice mamá es cierto y siempre has estado a mi lado, tú ausencia me han dado lecciones importantes.

Agradecimientos

A mis hermanos, Claudia, Catalina, Guillermina, Gabriela y Flavio, por apoyar a mamá en mi cuidado cuando fue necesario, las experiencias de sus vidas me han dejado lecciones importantes para guiar la mía, infinitas gracias por su cariño y apoyo mostrado a lo largo de prácticamente toda mi vida.

A Alejandra, por estar a mi lado a lo largo de esta vida universitaria, por siempre estar ahí en los momentos difíciles, por las conversaciones de múltiples temas que solo entre nosotras podemos seguir, por las caminatas en las islas, por compartir tu comida, por escucharme con paciencia, por nunca apartarte de mi lado a pesar de que los kilómetros nos separen, por ser mejor amiga de lo que yo he sido contigo, en fin gracias por todo, tu amistad incondicional es de lo mejor que la universidad me pudo dar, sé que aún nos queda mucho camino que recorrer y espero al menos una parte recorrerlo juntas; te quiero muchísimo y me alegra que cerremos este ciclo juntas.

A mis tres marías, María, Mariana y Maricruz, por esas aventuras que viví con ustedes y con Tovar, mucho de lo que soy se los debo a ustedes, siempre alentándome a salir de mi zona de confort y buscar más allá de lo que podía percibir, me enseñaron mucho sin siquiera saberlo. María me enseñaste que no hay que estresarse por las situaciones que ya están fuera de nuestro control ya que todo, tarde o temprano tomara su rumbo. Mariana, espero un día poder manejar las adversidades como tú lo haces. Maricruz me enseñaste que nunca es tarde para reordenar el camino cuando se encuentra lo que verdaderamente te apasiona. Les agradezco por hacerme fuerte a las despedidas y enseñarme a tener amigos con diferentes zonas horarias, los admiro mucho y los quiero aún más.

A Maryed y Luis, por su amistad y apoyo incondicional que se fortaleció en tan poco tiempo. Nataly, eres la persona más bondadosa que he conocido, siempre lo diré, la vida es más divertida por amigas como tú. Enrique por ser tan buen amigo y por ser mi compañero de gifs. Paulina y Alma por siempre compartir nuestras dudas existenciales del porvenir. Ithandehui por tu apoyo en las sesiones experimentales de este trabajo, trabajar contigo ha sido muy grato. Daniel, eres una de las personas más amables que conozco, un gran compañero de viaje y gran amigo. Emmanuel, eres una de las personas más listas que he conozco y me alegra mucho haberte conocido. Sir William, gracias por el trabajo y los congresos compartidos, no tengo duda que tendrás un buen porvenir. Gus Inge por todo el apoyo brindado siempre, y las pláticas muy divertidas. A todos ustedes infinitas gracias por hacer del laboratorio 1 mi lugar favorito.

A Eric por tu cariño incondicional a lo largo de todos estos años, por escucharme, alentarme y siempre mostrar interés en los avances de este y de todos los proyectos en los que trabaje. Por tu

apoyo en cada decisión que tome, muchas sin tu ayuda no hubiesen tenido tan buen resultado, te quiero mucho.

Al Ingeniero Fernando, por todo el conocimiento que me transmitió en la elaboración de equipo, por darme herramientas que me ayudaron a apoyar en el laboratorio de mejor manera y que permitieron echar a andar el equipo utilizado en este trabajo.

Al Dr. Vladimir Orduña, por su invaluable apoyo y paciencia a lo largo de todos estos años, esta experiencia me ha hecho crecer tanto en el ámbito académico como el personal. Vladi, eres un gran profesor y un investigador excepcional, admiro mucho esa perspicacia que tienes para ver múltiples posibilidades además de tu habilidad para explicar de la manera más sencilla los temas más complejos. Espero un día transmitir conocimiento como tú lo haces.

Al Dr. Oscar Zamora, por sus comentarios a este trabajo y por su apoyo a lo largo de la carrera, admiro mucho la perspectiva con la que ve la vida, gracias además por ampliar mi conocimiento de John Irving.

Al Dr. Florente López, por aceptar formar parte de mi comité, por sus comentarios al trabajo, ser su alumna ha sido una de las experiencias más formativas que tuve durante la carrera, es un gran profesor al que admiro demasiado.

Al Dr. Raúl Ávila, por sus observaciones a este trabajo y por la manera tan amable y didáctica que empleo en todo momento, por su apoyo para que este proceso no se retrasara.

Al Dr. Felipe Cabrera, por el interés mostrado en el trabajo y en formar parte del comité, por abrirme las puertas de tu laboratorio, por tu apoyo incondicional desde el primer momento y permitirme vivir una de las experiencias más valiosas a lo largo de mi formación académica, admiro mucho la perspectiva que tienes del área y el interés que tienes en la formación de tus alumnos, eres una gran investigador y profesor.

A la Facultad de Psicología en la que viví de los mejores años de mi vida, en torno de los mejores académicos, de actividades extracurriculares que hicieron mi vida universitaria más ligera y más feliz, por el comité de anfitriones que me permitió compartir mi experiencia de la carrera con otros.

A mi amada Universidad Nacional Autónoma de México, por darme una educación de la mejor calidad, porque me ha permitido vivir experiencias que han ayudado a mi formación académica y personal, que han hecho que cambie mi perspectiva del futuro y de las posibilidades del mismo de una manera excepcional, por dejarme conocer a una diversidad de personas impresionante, todos los días trabajaré para honrar esta máxima casa de estudios.

¡Gracias, totales!

Índice

Resumen	1
Introducción	2
Elección Subóptima	3
El valor del reforzador condicionado.	6
Elección subóptima en humanos.	7
Elección subóptima en ratas.	10
El valor incentivo y su relación con la elección subóptima.	12
Justificación	16
Objetivos	17
<i>Generales</i>	17
<i>Específicos</i>	17
Método	17
<i>Sujetos</i>	17
<i>Aparatos</i>	18
Experimento 1 Procedimiento de elección subóptima utilizando estimulación visual.	18
Procedimiento	18
Habitación.....	18
Moldeamiento.....	19
Pre-entrenamiento al procedimiento de elección subóptima.	20
Entrenamiento al procedimiento de elección subóptima.	20
Reversión.	22
Sesiones de apoyo a la discriminación.....	22
Resultados Experimento 1	23
Discusión Experimento 1	32
Experimento 2 Procedimiento de elección subóptima utilizando estimulación auditiva.	34
Justificación	34
Método	34
<i>Sujetos</i>	34
<i>Aparatos</i>	34
Procedimiento	34

Pre-entrenamiento al procedimiento de elección subóptima.	34
Entrenamiento al procedimiento de elección subóptima.	35
Resultados Experimento 2	37
Discusión Experimento 2	40
Experimento 3 Procedimiento de elección subóptima utilizando distribución espacial.	42
Justificación	42
Método	42
<i>Sujetos</i>	42
<i>Aparatos</i>	42
Procedimiento	42
Entrenamiento a tecla de respuesta de nariz.	43
Entrenamiento al procedimiento de elección subóptima.	43
Reversión.	45
Resultados Experimento 3	46
Discusión Experimento 3	55
Discusión general.	58
Referencias	61

Resumen

El fenómeno de elección subóptima ha cobrado relevancia en los últimos años, una de las razones ha sido que los resultados más replicados son contrarios a lo descrito por la teoría de forrajeo óptimo; adicional a esto, las diferentes especies con las que se ha trabajado el protocolo conductual han arrojado resultados contradictorios. Lo que da pie a que la generalidad de este fenómeno sea cuestionada.

El siguiente trabajo es un conjunto de experimentos en los que se explora el desempeño de los ratones, en el procedimiento generalmente utilizado en las investigaciones de elección subóptima ampliamente estudiado con palomas y ratas. Los sujetos trabajaron en tres variaciones del procedimiento original, ya que uno de los objetivos era conocer cuáles eran las características que el programa debía tener, en cuanto a estímulos utilizados, para obtener el desempeño adecuado de esta especie en la tarea, de acuerdo con las características de esta para lograr que los resultados obtenidos fuesen comparables a los de las otras especies con las que se ha trabajado.

Palabras clave: Elección Subóptima, Ratones, Generalidad, Exploración.

Introducción

Una constante en la vida de los seres humanos es elegir. Existen decisiones que pueden ser relativamente sencillas como, qué comer a la hora del almuerzo, hasta unas un tanto más complejas como, en qué tipo de producto financiero invertir, todo esto además en un entorno que es cambiante. Probablemente si se elige comer una manzana sobre una pera no haya mayor problema, pero si la elección de inversión es errónea y el mercado cae, el resultado de esto tiene implicaciones de mayor relevancia para los sujetos.

En Psicología, particularmente en el análisis experimental de la conducta se han desarrollado diversos protocolos conductuales que tratan de llevar a un ambiente más controlado las situaciones de elección existentes en la naturaleza. Eso ha dado como resultado distintas teorías y modelos que dan cuenta de características generales del proceso de elección.

Diferentes protocolos conductuales que se han desarrollado ayudan a entender los diferentes factores que influyen en el proceso de elección. Es un hecho que elegir es una constante en el ambiente de los organismos, pero entender cuáles son las características que influyen al elegir una opción sobre otra, ayuda a tener información de patrones conductuales que pueden ser particulares de diferentes grupos de la población.

Los seres humanos solemos buscar los mejores resultados posibles, obtener las mayores ganancias o las menores pérdidas (Staddon, 2010), aunque en ocasiones eso se vea mermado por elecciones que no cumplen con criterios de optimización; es común que nos dejemos llevar por la inmediatez de los reforzadores, dejando de lado características como calidad o magnitud de los mismos, conductas como estas se han catalogado como impulsivas. Este tipo de conductas son

constantemente observadas en los seres humanos, es por ello que la impulsividad se ha considerado un atributo estable y permanente de la personalidad (Bagby et al., 2007).

Si bien la conducta impulsiva es considerada un rasgo de la personalidad si los resultados de ésta comienzan a ser perjudiciales para los organismos que la presentan, comienza a considerarse como un problema que se ha relacionado con otros temas de interés en salud pública; es así como el juego patológico es un ejemplo de las consecuencias negativas en las que puede terminar la conducta impulsiva (Laude, Beckmann, Daniels, & Zentall, 2014).

Elección Subóptima

El fenómeno de Elección Subóptima surge a partir de resultados que contradicen lo planteado por MacArthur & Pianka (1966). Estos autores plantearon que los organismos ajustan sus conductas de búsqueda, consumo e inversión de tiempo a las diferentes opciones de alimento con el fin de tener un balance entre las ganancias y las pérdidas para de esta manera obtener mayor ingesta energética.

Fue Kendall (1974), quien reportó que las palomas preferían una opción que proporcionaba la mitad de las veces el reforzador sobre la opción que siempre proporcionaba reforzador. Esto contrario a que los organismos buscan el menor gasto de tiempo y energía para tener un mayor resultado, también está señalado en la Teoría de forrajeo óptimo (Pyke, Pulliam, & Charnov, 1977). Las características del programa eran que se presentaban dos alternativas, cuando los sujetos seleccionaban la alternativa A, tecla izquierda, el 50% de las veces se presentaba un estímulo seguido del reforzador y el 50% restante se presentaba otro estímulo nunca seguido por el reforzador; si el sujeto seleccionaba la alternativa B, tecla derecha, un 100% de las ocasiones se

presentaba un estímulo seguido por la entrega del reforzador. A estas circunstancias los sujetos mostraron una clara preferencia por la alternativa A, ver *figura 1*.

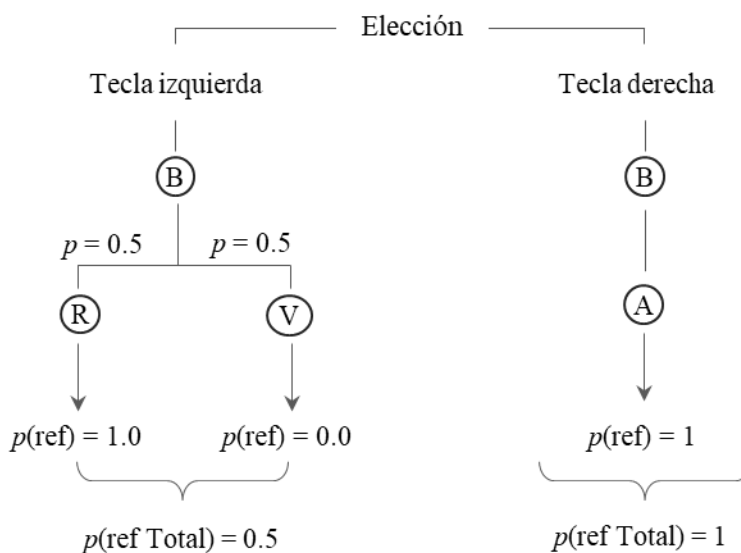


Figura 1. Procedimiento utilizado por Kendall, (1974).

Se puede decir que el experimento reportado por Kendall (1974) fue el primero que dio cuenta del fenómeno de elección subóptima, pero no fue hasta las investigaciones realizadas posteriormente que este término fue acuñado formalmente (Gipson, Alessandri, Miller, & Zentall, 2009; Laude, Beckmann, et al., 2014; Stagner, Laude, & Zentall, 2012; Stagner & Zentall, 2010).

Se ha demostrado que los organismos prefieren alternativas que brindan señales de lo que ocurrirá, sobre alternativas que son acompañadas de incertidumbre, tanto en reforzamiento negativo (Badia & Culbertson, 1972) como en reforzamiento positivo (Dinsmoor, 1983; Green & Rachlin, 1977). Tal es el caso del experimento reportado por Roper & Zentall (1999) en el que se les presentaron a los sujetos alternativas con la misma proporción de reforzamiento, pero diferentes estímulos que daban información relacionada a la entrega o ausencia del reforzador, dando como

resultado que los sujetos optaran por elegir la opción que les brindaba información sobre la entrega o ausencia del reforzador.

En el experimento reportado por Gipson et al. (2009) el protocolo conductual original utilizado por Kendall (1974), fue modificado. En este caso se presentó formalmente la lógica que tendrían el resto de los protocolos conductuales utilizados para su aplicación constante. El experimento constaba de dos tipos de alternativas; una opción discriminativa en la que un 50% de las veces se le presentaba un estímulo seguido de la entrega del reforzador y el otro 50% de las veces se le presentaba un estímulo señalando la ausencia del reforzador teniendo una probabilidad de reforzamiento global de 50% y otra opción no discriminativa en la que se le presenta dos estímulos que no proporcionaban información alguna relacionada al reforzador teniendo una probabilidad de reforzamiento global de 75%. Los resultados obtenidos por estos investigadores fue una clara elección de los sujetos por la opción discriminativa.

Para obtener información de qué tan contundente era el resultado obtenido, Stagner & Zentall (2010) utilizando la misma lógica del experimento antes descrito y solo modificando las probabilidades de reforzamiento, mostraron resultados en los cuales el efecto se mantenía o aumentaba en torno a las modificaciones, dando una mayor certidumbre a la existencia del fenómeno de Elección Subóptima.

Alrededor de estos resultados, McDevitt, Dunn, Spetch, & Ludvig (2016) propusieron cinco factores adicionales a la probabilidad de reforzamiento, relacionados con la elección subóptima de los organismos: las contingencias entre los estímulos y el reforzamiento, el requisito de respuesta en el eslabón inicial del programa, la demora al reforzador, la contigüidad entre la respuesta y los estímulos discriminativos y otros factores relacionados al autocontrol.

A partir de los experimentos que continuaron realizándose acerca del tema, surgió una amplia variedad de posibles factores que intervienen para que los sujetos experimentales, en este caso las palomas, respondieran de manera subóptima.

El valor del reforzador condicionado.

Al haber obtenido información sobre que el fenómeno de elección subóptima no necesariamente está relacionado a las probabilidades de reforzamiento sino al valor del reforzador condicionado, Laude et al. (2014) reportaron un experimento en el cual ambas alternativas de elección tenían estímulos discriminativos y las probabilidades de reforzamiento eran 20% y 50% respectivamente, esto con el fin de observar qué era lo que los organismos tomaban en cuenta al momento de elegir. Si lo importante para realizar la elección era la probabilidad de reforzamiento los sujetos elegirían consistentemente la alternativa que les proporcionaba el 50% del reforzamiento, pero si lo importante era el reforzador condicionado, los sujetos tenderían a la indiferencia dado que ambas alternativas proporcionan la misma información. Fue así como los resultados obtenidos dieron evidencia clara, al importante valor que tiene el reforzador condicionado, ya que los sujetos fueron indiferentes a las alternativas que se les presentaron.

Este experimento se une a otros en los que de igual manera se propone que la probabilidad de reforzamiento no es el factor determinante para que los sujetos respondan de manera subóptima, siendo los estímulos discriminativos los que juegan dicho papel en la elección los sujetos (Gipson et al., 2009; Roper & Zentall, 1999; Stagner & Zentall, 2010).

En torno a este tema, los investigadores observaron que durante el entrenamiento las palomas tendían a elegir óptimamente, pero al transcurrir las sesiones los sujetos cambiaban

consistentemente su elección por la alternativa subóptima. Fue entonces que se evaluó el papel del estímulo asociado a la ausencia del reforzador como inhibidor condicionado, empleando ensayos de sumación (Laude, Stagner, & Zentall, 2014). Dicho procedimiento consistía en presentar ensayos en los que se presentaban el estímulo predictor de la entrega del reforzamiento y el estímulo predictor de la ausencia del reforzamiento al mismo tiempo.

Los resultados obtenidos dieron cuenta de que el papel que juega el estímulo predictor de la ausencia del reforzador como inhibidor condicionado va perdiendo valor con el entrenamiento a la tarea. Esto dado que, durante la fase de entrenamiento, cuando se presentaban los ensayos de sumación los sujetos disminuían sus respuestas consistentemente en comparación a las respuestas emitidas en la presencia del estímulo predictor de la entrega del reforzador en solitario; pero al insertar ensayos de sumación una vez que los sujetos tenían una preferencia clara por la alternativa subóptima las respuestas no disminuían de la misma forma que durante el entrenamiento.

Elección subóptima en humanos.

El procedimiento conductual antes descrito se ha presentado como un escenario similar a la conducta de juego en seres humanos. En este escenario, la alternativa con baja probabilidad de aparición y una ganancia alta sería equivalente a elegir, por ejemplo, realizar apuestas deportivas, comprar billetes de lotería o participar en juegos de casino; y la alternativa con alta probabilidad de aparición y una ganancia baja sería el equivalente a elegir no participar en este tipo de juegos (Molet et al., 2012). En este artículo se plantea lo positivo que es tener una tarea que permita tener un modelo comparativo válido, ya que se ha planteado que encontrar los mecanismos responsables de la conducta de juego en humanos es complicado dado que los hallazgos son difíciles de

interpretar con conclusiones en ocasiones especulativas (Van Holst, Van den Brink, Veltman, & Goudriaan, 2010).

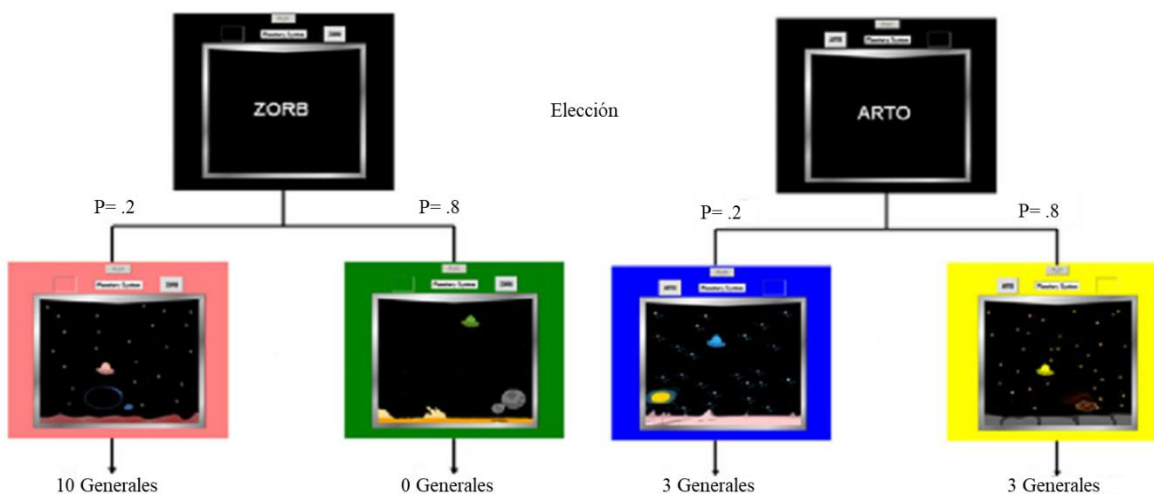


Figura 2. Procedimiento utilizado por Motel et al., (2012).

Bajo esta perspectiva Molet et al. (2012), realizaron un protocolo conductual para humanos basados en el protocolo aplicado con palomas por Zentall & Stagner (2011). Esta adaptación consistió en la elaboración de un video juego en el que los participantes tenían que eliminar el mayor número de capitanes enemigos, para ello debían elegir entre dos sistemas planetarios (ZORB y ARTO), la elección de ZORB daba como resultado la presentación de un planeta rojo el 20% de las veces en el que se podían eliminar 10 enemigos y un planeta verde que se presentaba el 80% de las veces en el que nunca se presentaban enemigos a eliminar (opción subóptima). La elección de ARTO daba como resultado la presentación de un planeta azul el 20% de las veces y un planeta amarillo el 80% en los cuales se podían eliminar 3 enemigos por igual (opción óptima), teniendo contrabalanceo entre grupos, ver figura 2.

Los participantes se dividieron en “jugadores”, personas que en un par de preguntas respondieron haber tenido conductas de juego recurrentes, y en “no jugadores”, personas sin conductas de juego previas. El resultado encontrado, fue que el grupo de “jugadores” tendían a elegir en mayor proporción la opción discriminativa, dando pauta a concluir que la tarea empleada con animales es un homólogo adecuado para continuar explorando con animales las diferentes hipótesis alrededor de la elección subóptima.

Al ser el primer experimento de su tipo los resultados fueron contundentes, no fue sino hasta la replicación de éste, que nuevos resultados fueron reportados (Lázaro, 2018). Cabe señalar que los participantes de este experimento se catalogaron como “no jugadores” y su tendencia de respuesta fue hacia la optimalidad, resultado que podemos decir es coherente con el hecho de que una persona que tiende a realizar conductas de juego en el experimento tendería a elegir de manera subóptima, mientras que una persona “no jugadora” tendería a elegir de manera óptima, justo lo reportado por Lázaro (2018).

Estos resultados nos ayudan a ampliar el conocimiento que se tiene en torno a la aplicación de este protocolo y como los resultados obtenidos pueden ser comparados entre especies dado que son homólogos entre sí. Pero es clara la necesidad de una mayor replicación de esta tarea en con seres humanos, “jugadores” y “no jugadores” para poder realizar conclusiones más fehacientes de acuerdo con los resultados.

Elección subóptima en ratas.

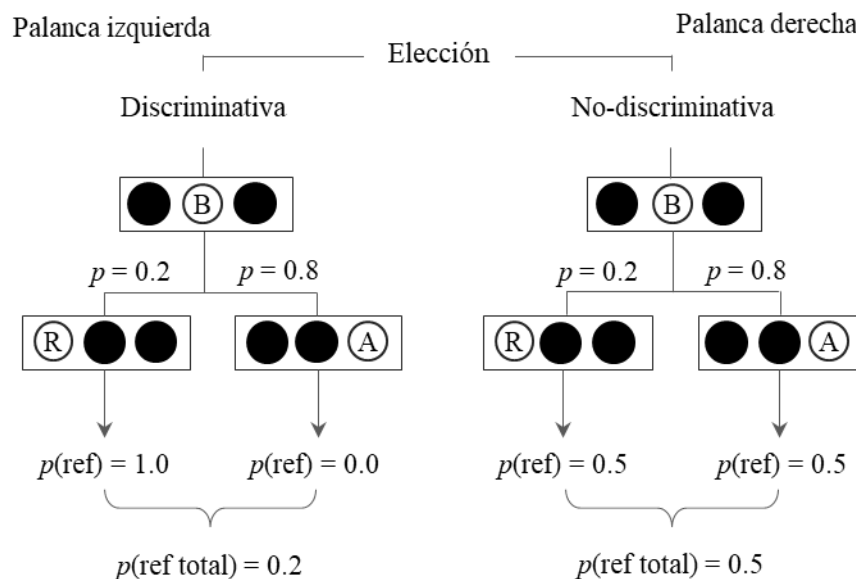


Figura 3. Procedimiento utilizado por Trujano y Orduña, (2015).

Generalmente en los experimentos con ratas, la operante entrenada es ejercer presión en una palanca, a diferencia de las palomas en las que el requisito entrenado es el picar una tecla de respuesta. Siguiendo esa línea, la modificación e implementación del protocolo conductual de elección subóptima con roedores, específicamente ratas, fue reportada por Trujano & Orduña (2015), estos investigadores se basaron en el programa utilizado por Stagner & Zentall (2010). De igual manera a los animales se les presentaban dos alternativas durante el eslabón inicial del programa, dos luces de color blanco se encendían una de lado derecho y otra al lado izquierdo del sujeto. Para poder continuar a los eslabones terminales debían presionar la palanca correspondiente a la alternativa seleccionada; al elegir la opción discriminativa un 20% de las ocasiones se encendía la una luz roja que siempre era seguida de la entrega del reforzador y el 80% de las ocasiones restantes se encendía una luz azul que nunca era seguida por el refuerzo, dando una probabilidad

de reforzamiento global de 20%. En la opción no discriminativa el 20% de las ocasiones se presentaba una luz roja que el 50% de las veces era seguida de la entrega del reforzador y el 80% restante de las ocasiones se presentaba una luz azul que el 50% de las veces era seguida de la entrega del reforzador, dando una probabilidad de reforzamiento global de 50%, como se puede observar en la *figura 3*. Además, la posición de las alternativas fue contrabalanceada en las diferentes condiciones del experimento.

Los resultados obtenidos de esta implementación fue una consistente elección de las ratas por la opción no discriminativa, es decir, estos sujetos fueron óptimos en su elección, contrario a lo obtenido generalmente en palomas, dicho resultado contribuyó a que se replanteara la generalidad del fenómeno de elección subóptima y diera pie a diferentes experimentos que exploran diferentes posibles explicaciones a estas diferencias.

Con base en la evidencia que se ha encontrado en torno a la relación que tienen el estímulo que predice la ausencia del reforzador como inhibidor condicionado y la elección subóptima de las palomas, un experimento pertinente en ratas dados los resultados en esta especie era la implementación del procedimiento utilizado en palomas por Laude, Beckmann, et al. (2014) en ratas. Fue así como Trujano, López, Rojas-Leguizamon, & Orduña (2016) realizaron la evaluación del impacto que tiene el estímulo asociado a la ausencia del reforzador como inhibidor condicionado en la respuesta óptima de las ratas, utilizando ensayos de sumación como en el experimento original. Los resultados dan cuenta que efectivamente el efecto de inhibidor condicionado que juega el estímulo influye mucho más en la elección que realizaron los sujetos, a diferencia de la influencia que tiene el estímulo predictor de la entrega del reforzador como reforzador condicionado, resultados contrarios a los reportados en palomas (Trujano et al., 2016).

A partir de los resultados obtenidos con ratas, comenzó una serie de experimentos que tratan de dar cuenta de las posibles causas de estas diferencias, explorando entre diferentes modificaciones al procedimiento original.

El valor incentivo y su relación con la elección subóptima.

Alrededor de los diferentes resultados reportados entre especies, Chow, Smith, Wilson, Zentall, & Beckmann (2017) plantearon como posible explicación el valor incentivo de los diferentes estímulos empleados en ambas especies, ratas y palomas. El argumento principal de este estudio es que el valor incentivo de las teclas iluminadas para las palomas es mucho mayor que el valor incentivo de las palancas para las ratas dado que el estímulo condicionado se presenta por separado, como se mencionó anteriormente, en la misma tecla en la que las palomas deben emitir su respuesta se les presenta el estímulo predictor de la entrega o la ausencia del refuerzo. Mientras que, en los procedimientos con ratas, una luz indica la presencia o ausencia del refuerzo, y la respuesta debe emitirse en una palanca, todo esto bajo el supuesto de que la conducta de seguimiento de señales presentada por las palomas a las teclas es similar a la presentada en las ratas a las palancas (Rivera, 2017).

Los investigadores realizaron varias modificaciones al protocolo con la intención de que los estímulos tuvieran para las ratas un valor incentivo similar al mostrado por las palomas. Fue así como la respuesta de elección ya no era la respuesta en una palanca sino la presión de una tecla con la nariz, así como la presentación de palancas como estímulos discriminativos, ver *figura 4*.

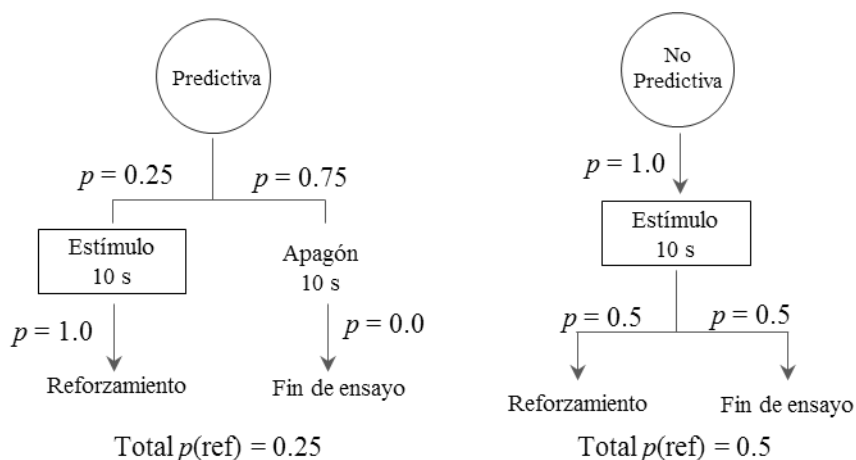


Figura 4. Procedimiento utilizado por Chow, Smith, Wilson, Zentall y Beckmann (2017).

De manera general el resultado encontrado fue un aumento de la elección por la alternativa subóptima en ratas (Chow et al., 2017). Sin embargo, este estudio dejó de lado la información relacionada al valor que el estímulo predictor de la ausencia del reforzador funge como inhibidor condicionado (Martínez, Alba, Rodríguez, & Orduña, 2017), explicado con mayor detalle y profundizando en la importancia de este tema por (Martínez, 2017).

Para realizar una integración de la información hasta el momento reportada con ratas se realizó una nueva adaptación del programa en la cual se conjugó la presentación de los estímulos normalmente utilizados y el agregar la posibilidad a que estos estímulos ganaran valor incentivo como en el caso de las palomas. En este programa los animales trabajaban en dos paneles operativos de la cámara operante, en el panel frontal se les presentaba la alternativa discriminativa que al ser seleccionada el 50% de las veces se presentaba una palanca A que siempre era seguida de la entrega del reforzador y el 50% restante se presentaba una palanca B que siempre era seguida de la ausencia del reforzador, dando una probabilidad de reforzamiento global de 50%. En el panel trasero se les presentaba la alternativa no discriminativa en la cual el 50% de las ocasiones se

presentaba una palanca C que el 75% de las ocasiones era seguida de la entrega del reforzador y el 50% restante se presentaba una palanca D en la que de igual manera el 75% de las veces era seguida de la entrega del reforzador, dando una probabilidad de reforzamiento global de 75% (Martínez et al., 2017), ver *Figura 5*.

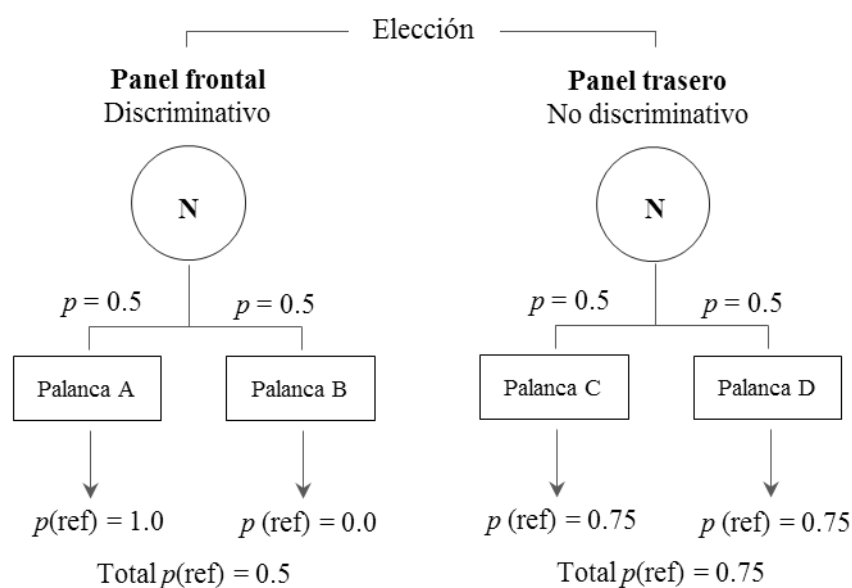


Figura 5. Procedimiento utilizado por Martínez, Alba, Rodríguez y Orduña (2017).

Los resultados reportados nuevamente indicaron elección óptima por parte de las ratas, lo que dio pauta a afirmar que la elección de estos animales está fuertemente relacionada al papel del inhibidor condicionado como ha sido sugerido en los estudios anteriores a este (Trujano et al., 2016; Trujano & Orduña, 2015).

En paralelo a estos hallazgos Rivera (2017), reportó un experimento con palomas en el que separó los estímulos de la operante en el programa de elección subóptima generalmente utilizado en palomas, esto para eliminar el valor incentivo de los estímulos. Esto influenciado por resultados reportados por Holt et al. (2013) en los que reportan menor tasa de descuento cuando se utiliza

como operante el pisar un pedal en lugar de picar una tecla como comúnmente se emplea con palomas. El autor hace referencia a que esta situación puede fortalecer la hipótesis del valor incentivo que se ha planteado y el papel que juega en la elección de las palomas (Rivera, 2017). Siguiendo por esta línea los sujetos trabajaron en el procedimiento clásico utilizado con la especie, con dos variaciones puntuales, 1) la operante era pisar un pedal y 2) los estímulos discriminativos era luces ambientales que iluminaban toda la caja operante, ver *Figura 6*.

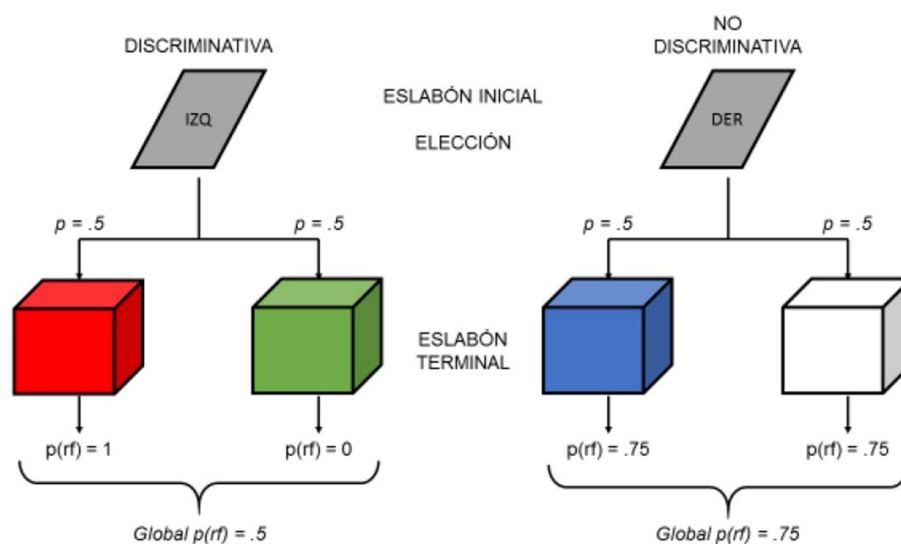


Figura 6. Procedimiento utilizado por Rivera (2017).

Los resultados de este experimento dieron un giro a lo reportado anteriormente con esta especie ya que, en esta ocasión, los sujetos mostraron una consistente preferencia por la opción óptima similar a lo reportado con ratas. Dando pie a confirmar que el valor incentivo de los estímulos en efecto juega un papel importante en la elección de las palomas según el procedimiento que se utiliza.

Es importante hacer hincapié en que todos los experimentos antes descritos además de reportar la proporción de elección por la opción discriminativa, siendo esta la variable que permite

catalogar como óptimo o subóptimo a un organismo. También reportan el número de respuestas emitidas a cada uno de los estímulos de las diferentes alternativas, discriminativa y no discriminativa. Esto porque las consecuencias que están relacionadas a los diferentes estímulos juegan un papel importante en la elección de los sujetos dado el valor que adquieren como reforzadores condicionados, permitiendo afirmar que los sujetos no están realizando una simple elección entre probabilidades globales de reforzamiento (Laude, Beckmann, et al., 2014), estos autores demostraron que cuando hay estímulos discriminativos en las alternativas de elección, los sujetos responden indistintamente a pesar de que las probabilidades de reforzamiento sean diferentes.

El presente trabajo se une a investigaciones que incluyen a los ratones en paradigmas conductuales que tienen una amplia literatura detrás y en su mayoría solo se habían empleado con palomas o ratas, el trabajo de Cavdaroglu & Balci (2016) es un ejemplo de ello, cabe destacar que la implementación específicamente de este procedimiento de elección subóptima con ratones como sujetos experimentales no existe en la literatura. El integrar esta especie al estudio de la elección subóptima implica un mayor conocimiento de la generalidad del fenómeno, además de abrir la posibilidad a trabajar hipótesis relacionadas al sustrato fisiológico propuestas por algunos autores (Smith, Hofford, Zentall, & Beckmann, 2018), ya que estos sujetos son ampliamente utilizados como modelos neurológicos.

Justificación

El trabajo con animales de laboratorio ha sido una fuente de información importante en diferentes fenómenos del comportamiento que al tener generalidad han sido utilizados para realizar intervenciones en seres humanos. El fenómeno de elección subóptima con los resultados que hasta

el momento han arrojado no se podría considerar generalizable es así como la exploración con otras especies, en este caso ratones, nos ayudara a tener más información de dicho fenómeno.

Objetivos

Generales

Obtener información sobre el desempeño de los ratones en una tarea de Elección Sub-óptima, utilizando diferentes tipos de estimulación sensorial.

Específicos

Los resultados obtenidos utilizando este procedimiento con otras especies como sujetos experimentales (palomas y ratas) han sido contradictorios. Por un lado, las palomas presentan conducta subóptima y las ratas conducta óptima. El explorar el comportamiento de los ratones en este procedimiento nos podrá dar cuenta de si el comportamiento óptimo es particular de los roedores.

Método

Sujetos

Se utilizaron 8 ratones hembra de la cepa CD1 de aproximadamente sesenta días de edad, adquiridos en el bioterio del Instituto de Fisiología Celular de la UNAM. Los sujetos fueron colocados en tres cajas habitación, divididos en dos grupos de tres y un tercero de dos sujetos, en una habitación con temperatura controlada ($21^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$) y un ciclo luz oscuridad 12:12. Posterior a cuatro días de habituación a las condiciones del bioterio se pesaron durante siete días para obtener la línea base de su peso. Una vez obtenida la línea base los sujetos fueron privados al 88% de su peso con libre acceso a agua durante todo el experimento.

Aparatos

Se utilizaron cuatro cajas de condicionamiento operante (MED-Associates, Inc. Model ENV-307A), cada caja contaba en su panel frontal con dos palancas retráctiles a los lados de un receptáculo de pellets que contaba con un led que se encendía cada vez que el reforzador era entregado, el reforzador utilizado fueron pellets de precisión de 14 mg (Bio-Serv, Producto F05684) administrados por un dispensador de pellets (MED-Associates, Inc. Model ENV-203-14P). Sobre cada palanca se encontraba un triple estimulador visual de leds ultrabrillantes de 3mm utilizados como estímulos. En el panel trasero se encontraba un bombillo que proporcionaba luz general. Cada caja se encontraba dentro de una caja sonoamotiguadora que contaba con un ventilador que fungía como extractor de olor y generador de ruido blanco.

El control de las cajas operantes se llevó a cabo a través de un computador conectado a una interface Med-PC-IV (MED Associates, Inc) que se localizaba en un espacio continuo a la habitación de las cajas operantes.

Experimento 1 Procedimiento de elección subóptima utilizando estimulación visual.

Procedimiento

Habitación.

En el primer día esta etapa todos los sujetos fueron colocados en las cajas operantes durante 25 minutos, previo a su ingreso en cada comedero se colocaron 20 pellets y en el transcurso de este tiempo la luz general y la luz del comedero se mantuvieron encendidas. Una vez finalizado el tiempo se contaron los pellets que cada sujeto dejó en el comedero. El criterio para terminar esta etapa era que los sujetos consumieran en su totalidad los pellets del comedero.

Dado que algunos de los sujetos no consumieron en su totalidad los pellets se trabajó una segunda sesión de habitación, pero en esta ocasión los 20 pellets fueron mezclados con polvo del alimento común de los sujetos. El criterio fue cubierto y todos los sujetos continuaron a la siguiente etapa.

Moldeamiento.

En la primera parte de esta etapa los sujetos trabajaron en un programa RF1-RF1-TF45. Este programa consistió en presentar ambas palancas al sujeto, mientras la luz amarilla de cada triple estimulador localizado sobre cada una de éstas se encontraba encendida, al igual que la luz general. Los sujetos obtenían reforzadores cada vez que emitían una respuesta en cualquiera de las dos palancas y cada vez que transcurrían 45 segundos, la sesión terminaba cuando el sujeto obtenía 80 reforzadores o transcurridos 50 minutos. Una vez que los sujetos comenzaron a responder cambiaron de programa a RF1-RF1, con la misma lógica que el programa anterior solo que en éste los sujetos obtenían los reforzadores solo por las respuestas emitidas en cualquiera de las palancas, la sesión finalizaba al obtener 80 reforzadores o transcurridos 50 minutos.

En la segunda parte de esta etapa los sujetos trabajaron en un programa RF1 contingente a ambas palancas, durante cada ensayo se presentaba una palanca aleatoriamente y el sujeto debía emitir una respuesta para obtener un reforzador. La sesión consistía en 60 ensayos, en promedio 30 ensayos por palanca. Se calcularon las latencias y medianas de las respuestas por sesión a cada una de las palancas y cuando estas eran similares esta etapa finalizaba. Esto se realizó para asegurarnos que al inicio del experimento los sujetos no presentaran sesgo hacia ninguna de las palancas.

Pre-entrenamiento al procedimiento de elección subóptima.

En esta condición los ensayos consistían en la presentación de uno de los tres estímulos del triple estimulador en conjunto a la presentación de la palanca correspondiente a dicho triple estimulador, es decir, para los estímulos de lado derecho se presentaba la palanca del lado derecho y para los estímulos del lado izquierdo se presentaba la palanca izquierda. Una vez encendido el estímulo una respuesta en la palanca después de 10 segundos retraía la palanca, apagaba el estímulo y encendía la luz del receptáculo de pellets donde se entregaba el reforzador; después de 3 segundos iniciaba el intervalo entre ensayos de 10 segundos donde toda la caja operante permanecía en completa oscuridad. Una sesión consistía en 60 ensayos divididos en 10 ensayos presentados aleatoriamente para cada estímulo. El criterio para finalizar esta fase fue que los sujetos terminaran los 60 ensayos durante dos sesiones consecutivas.

Entrenamiento al procedimiento de elección subóptima.

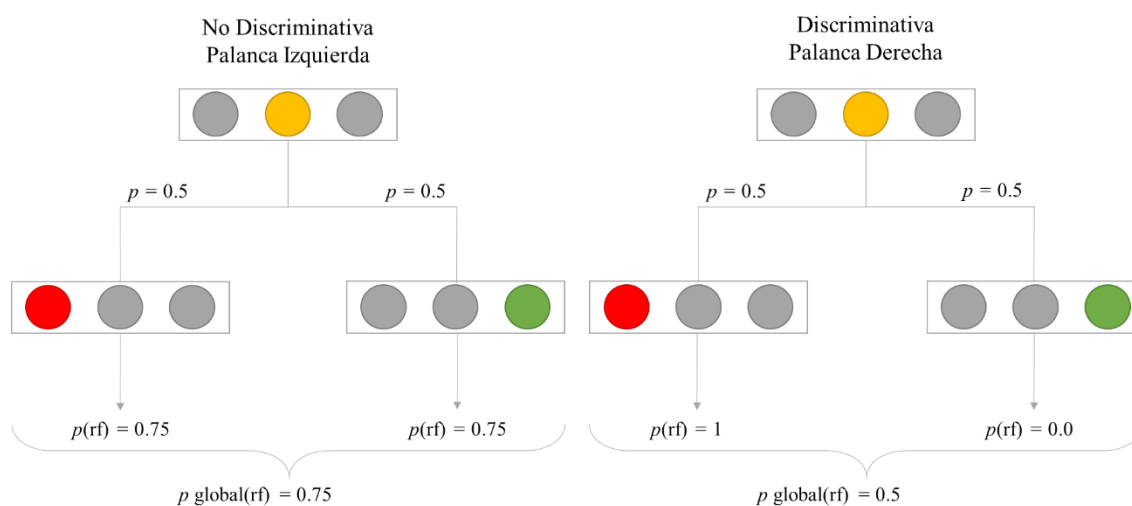


Figura 7. Diagrama del procedimiento de elección subóptima con estímulos visuales.

Durante esta fase los sujetos trabajaron en un programa concurrente encadenado, en el cuál había dos tipos de ensayo, forzados y libres. Los ensayos forzados consistían en la presentación de una de las dos palancas con la luz amarilla correspondiente a la operante, ver *figura 7*.

En este caso, si la palanca y el estímulo que se presentaba eran los relacionados a la opción discriminativa con probabilidad de 0.5 se presentaba una luz roja que con probabilidad de 1 entregaba un pellet como reforzador y con probabilidad de 0.5 se presentaba una luz verde que nunca entregaba reforzador, dando como resultado una probabilidad global de reforzamiento de 0.5.

Por otro lado, si la palanca y el estímulo que se presentaban eran los relacionados a la opción no discriminativa con probabilidad de 0.5 se presentaba una luz roja que con probabilidad de 0.75 entregaba un pellet como reforzador y con probabilidad de 0.5 se presentaba una luz verde que con probabilidad de 0.75 entregaba un pellet como reforzador, dando como resultado una probabilidad de 0.75.

Los ensayos libres consistían en la presentación de las dos palancas y luces amarillas simultáneamente. Una respuesta en cualquiera de las opciones cancelaba la opción contraria y dependiendo de la elección se les presentaban las mismas contingencias de los ensayos forzados.

Una sesión estaba conformada de 60 ensayos divididos en 40 ensayos forzados, 20 de la opción discriminativa y 20 de la opción no discriminativa, y 20 ensayos libres, presentados de manera aleatoria y con un intervalo entre ensayos de 10 segundos.

El criterio para finalizar esta fase fue que la proporción de elección se mantuviera estable y que las tasas de respuestas a los dos estímulos del eslabón terminal de la opción discriminativa

dieran cuenta que los sujetos entendían la función de cada uno de ellos respondiendo de manera diferenciada.

Reversión.

Para descartar que los resultados en la fase de entrenamiento fuesen por un sesgo de posición se revirtieron las posiciones de las alternativas, es decir, dado que la opción discriminativa se entrenó en la palanca del lado derecho para esta fase la opción discriminativa se colocó en la palanca izquierda y viceversa. Una vez que se cumplió el criterio antes mencionado se finalizó esta fase.

Sesiones de apoyo a la discriminación.

Los sujetos no respondieron de manera diferencial a los estímulos del eslabón terminal de la opción discriminativa trabajaron en sesiones donde se les presentaban 60 ensayos forzados de la opción discriminativa, esto para apoyar la discriminación de las contingencias para cada estímulo. Recordemos que en esta opción con probabilidad de 0.5 se presentaba una luz roja que con probabilidad de 1 entregaba un pellet como reforzador y con probabilidad de 0.5 se presentaba una luz verde que nunca entregaba reforzador.

Esto se realizó tanto en la fase de entrenamiento como en la fase de reversión, es decir, trabajaron en ensayos forzados cuando la opción discriminativa se encontraba relacionada a la palanca derecha y también cuando esta opción se encontraba relacionada a la palanca izquierda. El número de estas sesiones fue diferente para cada sujeto. El criterio para finalizar estas sesiones fue que los sujetos mostrarán estabilidad en sus tasas de respuestas a cada estímulo durante cinco sesiones seguidas.

Una vez que discriminaban entre las contingencias de cada estímulo y respondían de manera consistente alternaban sesiones en las que se presentaban 60 ensayos forzados de la opción discriminativa y sesiones de 60 ensayos de la opción no discriminativa, esto para corroborar que la discriminación en la opción discriminativa era estable y que las sesiones de ensayos forzados discriminativos no afectaron las respuestas en la opción no discriminativa. Posterior a estas sesiones los sujetos continuaban trabajando en el programan de elección subóptima.

No todos los sujetos pasaron por este tipo de sesiones. Los sujetos que después de 12 sesiones de ensayos forzados discriminativos no lograron discriminar continuaron en este tipo de sesiones aumentando el reforzador a 2 pellets.

Resultados Experimento 1

Tabla 1. *Resultados de las pruebas t, de la proporción de elección comparada con la indiferencia.*

Sujeto	Media	Desviación Estándar	N	Error Estándar	Valor t	<i>g.l.</i>	p
CD1-1	0.06	0.04	5	0.01	-23.5	4	0
CD1-2	0.13	0.06	5	0.03	-12.3	4	0
CD1-3	0.03	0.04	5	0.02	-23.5	4	0
CD1-4	0.03	0.02	5	0.01	-38.3	4	0
CD1-5	0.06	0.04	5	0.01	-23.5	4	0
CD1-6	0.03	0.04	5	0.02	-23.5	4	0
CD1-7	0.02	0.02	5	0.01	-39.1	4	0
CD1-8	0.11	0.09	5	0.04	-9	4	0

El análisis de los datos para los tres experimentos consistió en el cálculo de la proporción de elección por la opción discriminativa, es decir, el número de ensayos en el que los sujetos eligieron la opción discriminativa entre el número de ensayos totales de elección y el promedio de las respuestas a los diferentes estímulos de la opción discriminativa y la opción no discriminativa durante los ensayos forzados.

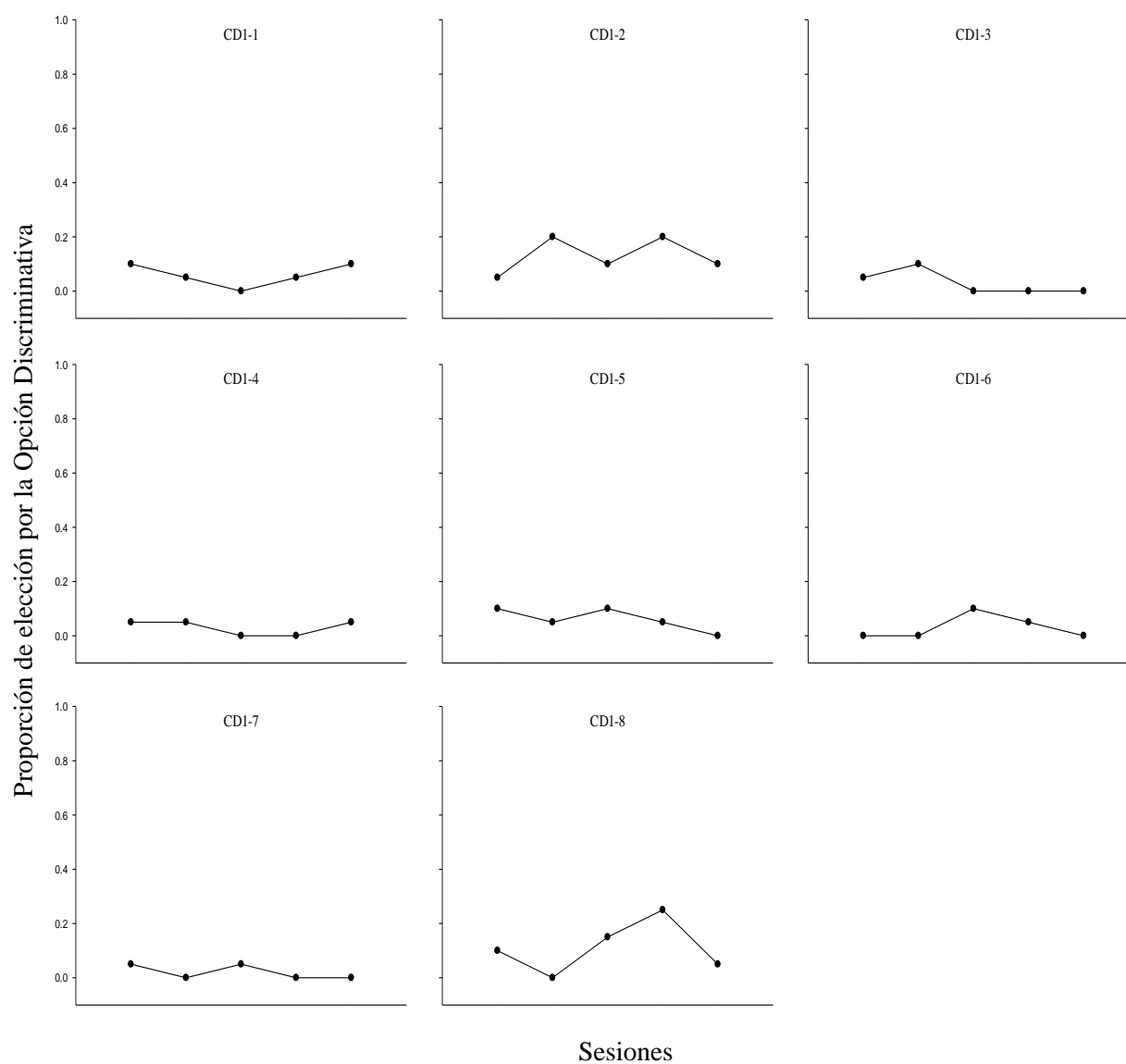


Figura 11. Proporción de elección por la opción discriminativa de las últimas cinco sesiones durante la fase de entrenamiento.

En particular para el experimento 1 las medidas antes mencionadas se analizaron de manera individual dada la naturaleza de los datos y para una mejor comprensión de estos.

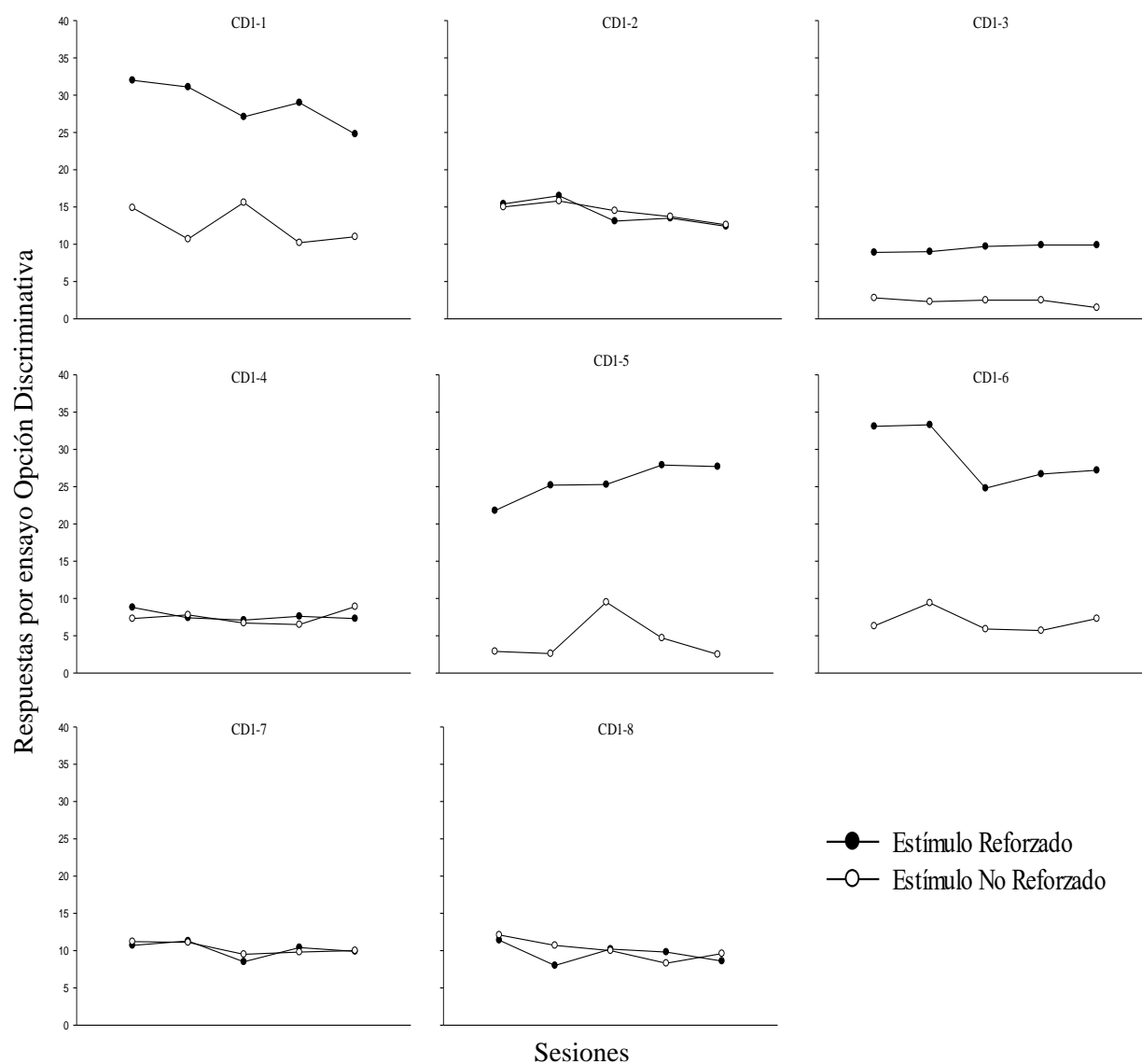
En la *figura 11* se presentan los datos individuales de la proporción de elección por la opción discriminativa de las últimas cinco sesiones durante el entrenamiento al programa, como se puede observar todos los sujetos mantuvieron proporciones de elección bajas hacia dicha opción. Para asegurar que lo observado en las gráficas no fuese un evento azaroso se realizaron pruebas t para comparar los datos contra la indiferencia, los resultados arrojaron diferencias estadísticamente significativas de cada uno de los sujetos, ver Tabla 1, esto quiere decir que todos los sujetos respondieron de manera óptima durante la fase de entrenamiento.

Como se mencionó anteriormente, también se realizaron análisis de las respuestas a los estímulos de la opción discriminativa, esto para asegurar que los sujetos discriminaran la función de cada uno de los estímulos.

En la *figura 12* se presentan las respuestas a los diferentes estímulos de la opción discriminativa, se puede observar que solo cuatro de los ocho sujetos, CD1-1 ($t(4) = 10.02$, $p < 0.00$), CD1-3 ($t(4) = 18.70$, $p < 0.00$), CD1-5 ($t(4) = 12.58$, $p < 0.00$) y CD1-6 ($t(4) = 15.31$, $p < 0.00$), respondieron de manera estadísticamente diferente a cada uno de los estímulos de esta alternativa.

Los cuatro sujetos restantes no muestran diferencias estadísticamente significativas en el número de respuestas realizadas en presencia de cada estímulo de esta alternativa, CD1-2 ($t(4) = -0.38$, $p < 0.71$), CD1-4 ($t(4) = 0.36$, $p < 0.73$), CD1-7 ($t(4) = -0.57$, $p < 0.59$) y CD1-8 ($t(4) = -0.77$,

$p < 0.47$), lo que nos indica la falta de discriminación de estos sujetos a la información proporcionada por cada uno de los estímulos.



Como se mencionó en la introducción la discriminación entre estímulos es trascendental dado que de ahí deriva el valor que los sujetos les pudiesen asignar a cada uno de ellos, y esto a su

vez está estrechamente relacionado en la elección global por la opción discriminativa o por la opción no discriminativa lo que como resultado final nos dará la pauta para aseverar si los ratones son una especie que bajo las condiciones de este paradigma son óptimos o son subóptimos.

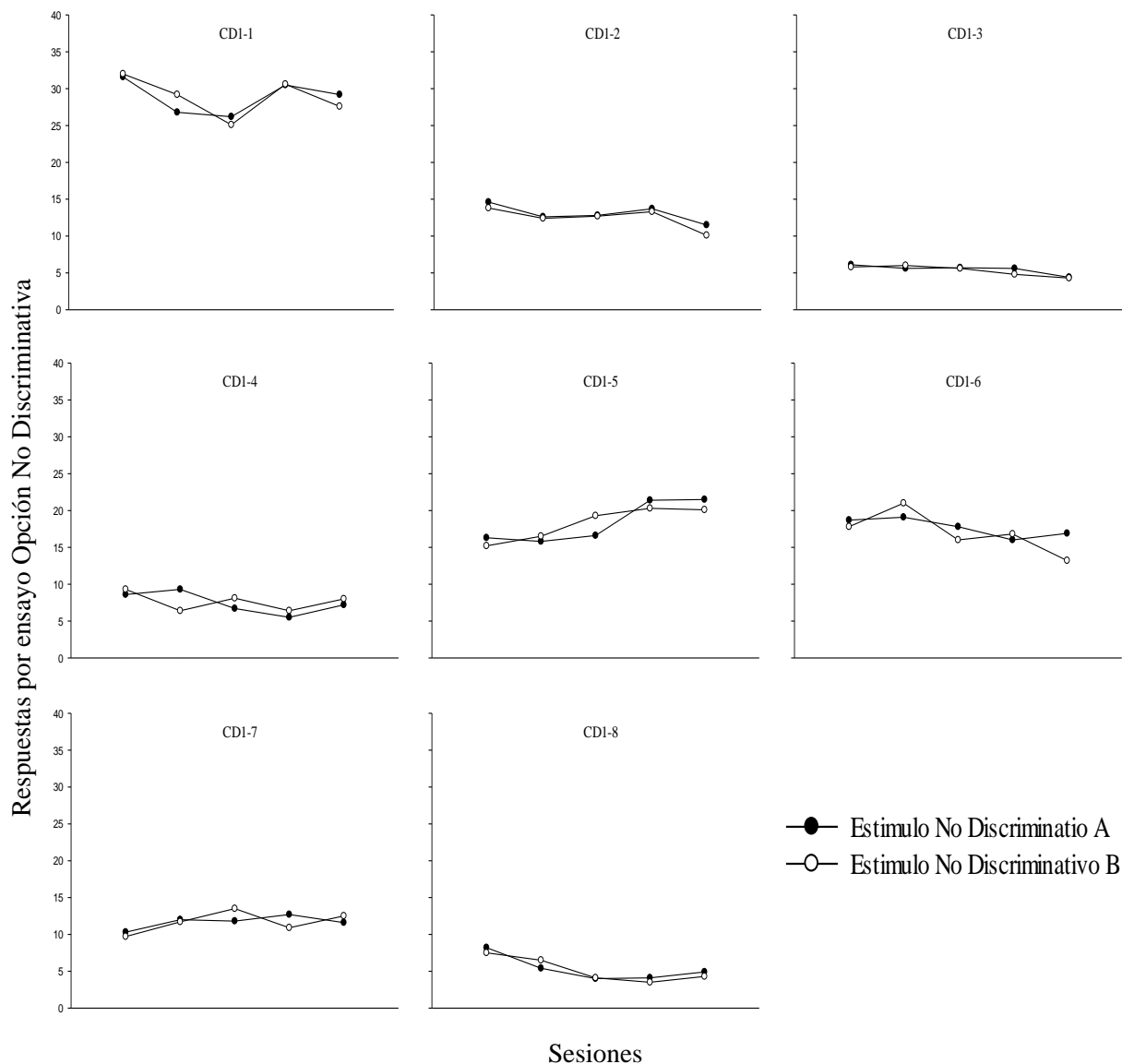


Figura 13. Promedios de las respuestas de las últimas cinco sesiones hacia los estímulos de los eslabones terminales en la opción No discriminativa durante la fase de entrenamiento.

Los resultados en cuanto al análisis de las respuestas hacia la opción no discriminativa durante la condición de entrenamiento no fueron estadísticamente significativos para ninguno de los sujetos. En la *figura 13* se presentan los gráficos correspondientes a dicha condición, en ésta se puede observar que en el caso de los sujetos CD1-2 ($t(4) = 2.44$, $p < 0.02$), CD1-4 ($t(4) = -0.23$, $p < 0.82$), CD1-7 ($t(4) = 0.03$, $p < 0.97$) y CD1-8 ($t(4) = 0.40$, $p < 0.70$), responden con números de respuesta similares los realizados en la opción discriminativa, lo que nos da pauta para aseverar que los animales no solo no discriminaban entre estímulos, sino que tampoco discriminaban entre tipo de ensayo.

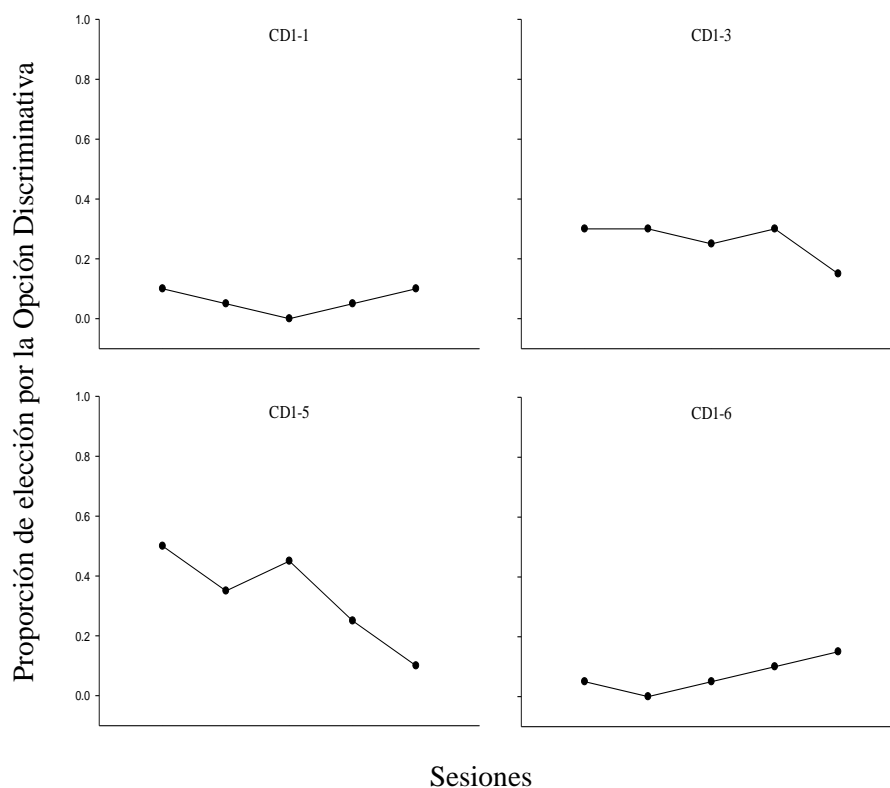


Figura 14. Proporción de elección por la opción discriminativa de las últimas cinco sesiones durante la fase de reversión. Solo se presentan los datos de los sujetos que trabajaron dicha fase.

En el caso de los sujetos CD1-1 ($t(4) = -0.05, p < 0.95$), CD1-3 ($t(4) = 0.93, p < 0.4$), CD1-5 ($t(4) = 0.05, p < 0.96$) y CD1-6 ($t(4) = 0.75, p < 0.49$), se observa que mantienen un número de respuestas similar entre los estímulos de este tipo de ensayos lo que concuerda con el hecho de que ninguno de éstos les proporciona información relevante para la obtención de reforzamiento y que al no haber dicha información respondan de igual forma.

Posterior a la fase entrenamiento hubo una fase de reversión en la cual trabajaron solo los sujetos que discriminaron la función de los diferentes estímulos de la opción discriminativa. En la *figura 14* se presentan los gráficos de la proporción de elección por la opción discriminativa durante las últimas cinco sesiones de la fase de reversión, en ellos se observa en general que los sujetos mantuvieron los resultados presentados en el entrenamiento, a excepción del sujeto CD1-5, teniendo proporciones de elección bajas hacia esta opción. Aunque si comparamos los gráficos, la proporción de elección hacia la opción discriminativa para la fase de entrenamiento es mucho más cercana a cero que lo observado durante la fase de reversión.

Para esta condición también se realizaron pruebas t para comparar contra el azar los datos obtenidos, los resultados de cada uno de los sujetos fueron, CD1-1 ($t(4) = -15, p < 0.00$), CD1-3 ($t(4) = -8.2, p < 0.00$), CD1-5 ($t(4) = -2.3, p < 0.07$) y CD1-6 ($t(4) = -16.8, p < 0.00$), la estadística indicó que los resultados de los sujetos CD1-1, CD1-3 y CD1-6 no son producto del azar, no siendo así para el sujeto CD1-5 donde la estadística no arrojó diferencias significativas a la indiferencia de las respuestas realizadas por este sujeto aunque, como se puede apreciar en los gráficos, se puede observar una tendencia a la optimalidad durante las últimas dos sesiones.

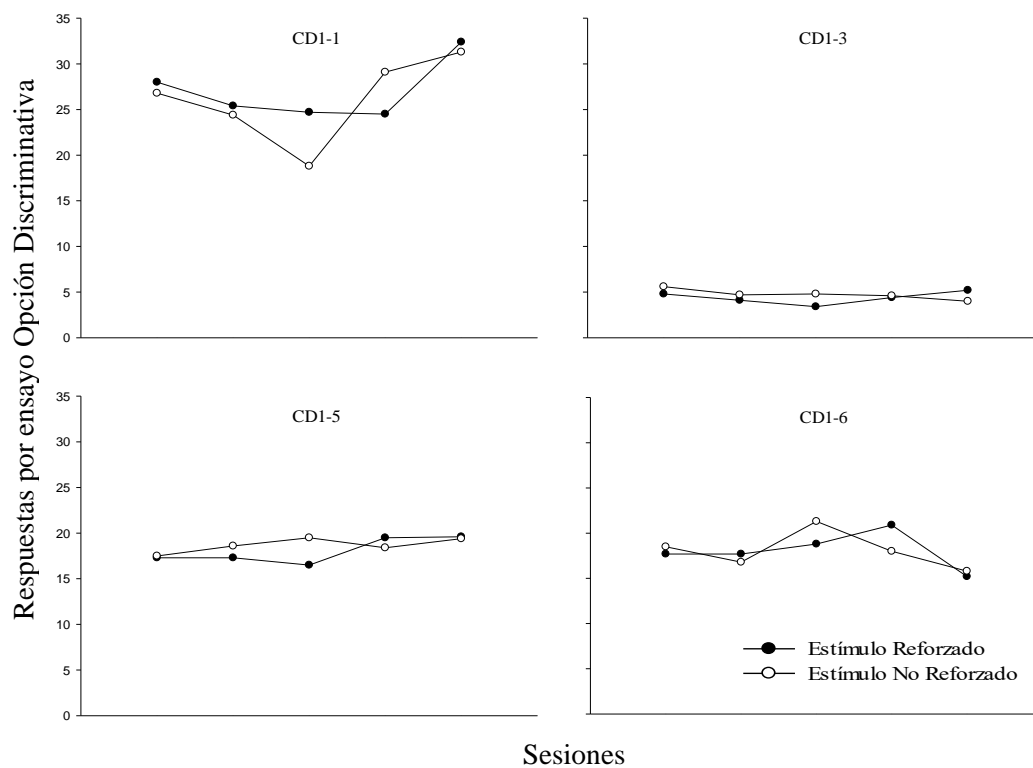


Figura 15. Promedio de respuestas de las últimas cinco sesiones hacia los estímulos de los eslabones terminales en la opción discriminativa durante la fase de entrenamiento. Los círculos negros representan las respuestas al estímulo que siempre fue reforzado y los círculos blancos al estímulo nunca reforzado.

Por otro lado, al graficar el número de respuestas hacia los diferentes estímulos de la opción discriminativa durante esta condición, se observó que los sujetos no respondieron de manera diferenciada a los estímulos como en la condición de entrenamiento, ver figura 15. Se realizó la estadística correspondiente, arrojando que efectivamente no hay diferencias significativas entre las respuestas que los sujetos emitieron a cada uno de los estímulos de la opción discriminativa, CD1-1 ($t(4) = 0.55$, $p < 0.60$), CD1-3 ($t(4) = -0.82$, $p < 0.45$), CD1-5 ($t(4) = -0.9$, $p < 0.4$) y CD1-6 ($t(4) = -0.02$, $p < 0.98$), esto indica una posible falta de flexibilidad conductual necesaria de esta

especie para modificar de manera efectiva su respuesta a favor de resultados favorables para su supervivencia.

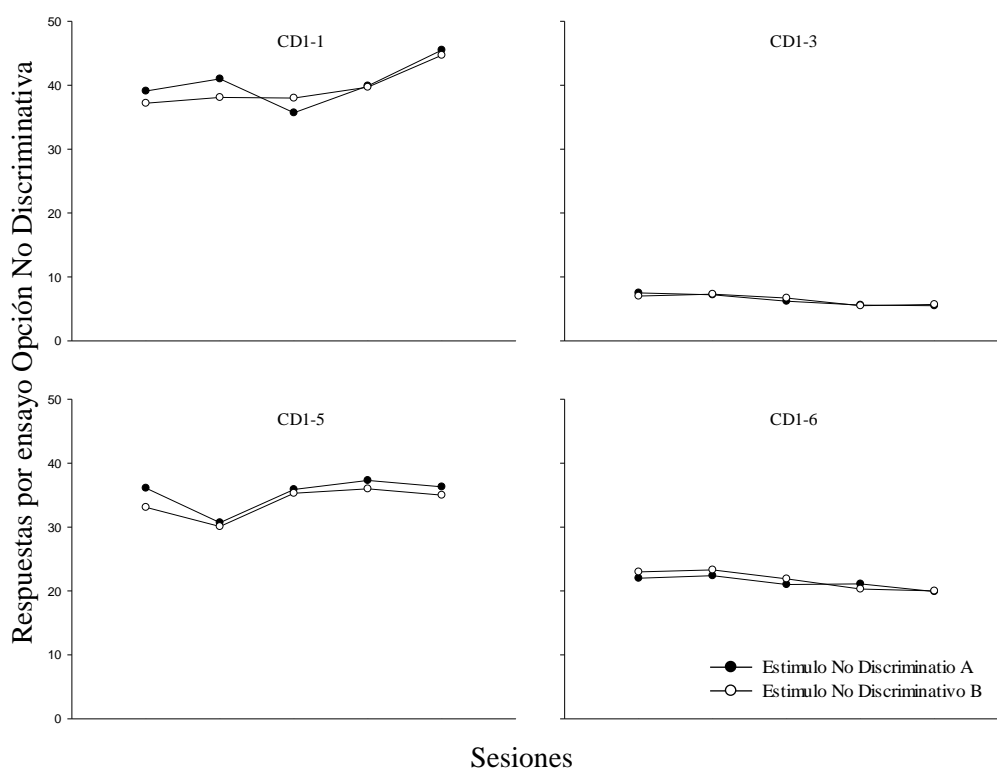


Figura 16. Promedios de las respuestas de las últimas cinco sesiones hacia los estímulos de los eslabones terminales en la opción No discriminativa durante la fase de reversión.

Por último, se realizaron los análisis correspondientes para el número de respuestas a los estímulos de la opción no discriminativa en la *figura 16* se muestran las gráficas de las respuestas emitidas por cada uno de los sujetos. Los siguientes son los resultados de la estadística para cada sujeto D-1 ($t(4) = 0.7, p < 0.47$), CD1-3 ($t(4) = -0.24, p < 0.82$), CD1-5 ($t(4) = 3, p < 0.03$) y CD1-6 ($t(4) = -1.2, p < 0.29$). En el caso específico del sujeto CD1-5 los resultados arrojados dan cuenta de diferencia estadísticamente significativa, este es un resultado contrario a lo que se esperaría en este tipo de ensayos, pero nos da la pauta para aseverar que al menos este sujeto tendió a responder

de igual manera en ambas condiciones dado que al realizarse la reversión no adapto sus respuestas a las nuevas contingencias del programa.

Discusión Experimento 1

Unos de los puntos a tocar respecto al experimento 1 es que a pesar de que en el entrenamiento todos los sujetos tuvieron una baja proporción de elección por la opción discriminativa, solo la mitad de los sujetos respondieron de manera discriminada a los estímulos de esta opción, dando como consecuencia dos posibles explicaciones a estos hechos.

Primera, que el número de ensayos forzados de esta alternativa no eran suficientes para que los sujetos pudieran ser sensibles a las contingencias de la opción discriminativa y segunda, que a diferencia de las ratas para los ratones el papel de las luces y su relación con el valor del estímulo condicionado no es lo suficientemente importante como para guiar sus respuestas por dicha característica.

La medida que se tomó en torno a la primer posible explicación relacionada al de número de ensayos fue que los sujetos trabajaran sesiones donde solo se les presentaron ensayos discriminativos, esto para darles un rango más prolongado de contacto con las contingencias de esta opción y de esta manera observar si su discriminación mejoraba al regresar al programa original. Los sujetos del grupo que trabajaron en estas sesiones y no lograron cumplir con este objetivo se reubicaron en una nueva modificación del paradigma conductual, fue de esta manera que surgió el experimento 2.

Los sujetos que discriminaron las contingencias de la opción discriminativa durante el entrenamiento, y trabajaron la condición de reversión, como se observó en los resultados fue en esta condición en la cual presentaron problemas de discriminación hacia los estímulos esta opción. Dados sus resultados obtenidos durante el entrenamiento, se consideró que las sesiones de apoyo tendrían mejores resultados que los obtenidos en el grupo anterior, esto no sucedió y aunque las proporciones de elección por la opción discriminativa disminuyeron en todos los animales, la ausencia de discriminación hacia las contingencias del programa se dio por finalizado este experimento. Los sujetos de este grupo se ingresaron a una nueva modificación del paradigma conductual, dando paso al experimento 3.

La importancia de que los sujetos logaran discriminar viene a partir de que el paradigma de elección subóptima que se fundamentó en experimentos con palomas como sujetos experimentales ha reportado que al volver las dos alternativas no discriminativas los sujetos tienden a responder de manera óptima (Stagner et al., 2012; Stagner & Zentall, 2010), es así que si esta modificación del procedimiento empleada en ratones no cumplía con las características básicas de los programas originales, era necesaria una nueva búsqueda para lograr encontrar la modificación que lograra cumplir estas características.

Experimento 2 Procedimiento de elección subóptima utilizando estimulación auditiva.

Justificación

En este experimento se trabajó bajo el supuesto que los estímulos auditivos ayudarían a un mejor aprendizaje de las contingencias del programa, dados los resultados obtenidos con los estímulos visuales.

Método

Sujetos

Se utilizaron 4 de los sujetos del experimento 1, en específico los que trabajaron sesiones de reversión en el experimento con estímulos visuales. Los sujetos continuaban en las mismas condiciones descritas anteriormente privados al 88% de su peso con libre acceso a agua.

Aparatos

Se utilizaron 2 de las cajas operantes (MED-Associates, Inc. Model ENV-307A) descritas en el experimento uno adicionando un generador de tonos (MED-Associates, Inc. Model ENV-223) con un altavoz (MED-Associates, Inc. Model ENV-224AM) para cada una de las cajas, colocado en la parte externa de la caja a un costado de la pared lateral izquierda.

Procedimiento

Pre-entrenamiento al procedimiento de elección subóptima.

Al igual que en el experimento 1 se realizó un entrenamiento previo con los nuevos estímulos del programa. Es importante destacar que en este pre-entrenamiento se tomó en cuenta los estímulos que estarían relacionados a las diferentes opciones.

Luego entonces en esta condición los ensayos consistían en la presentación de unos de los tres estímulos de cada opción, dos auditivos y uno visual, en conjunto a la presentación de la palanca correspondiente a dicho grupo de estímulos, es decir, para la palanca de lado derecho que en este caso fue la opción no discriminativa se presentó la luz amarilla del triple estimulador correspondiente, un tono de 1Hz o un tono de 9Hz y para la palanca de lado izquierdo que en este caso fue la opción discriminativa se presentó la luz amarilla del triple estimulador correspondiente, un tono de 2.5Hz o un tono de 5Hz.

Una vez encendido el estímulo una respuesta en la palanca después de 10 segundos retraía la palanca, apagaba el estímulo y encendía la luz del receptáculo de pellets donde se entregaba un pellet como reforzador; después de 3 segundos iniciaba el intervalo entre ensayos de 10 segundos donde toda la caja operante permanecía en completa oscuridad. Una sesión consistía de 60 ensayos divididos en 10 ensayos presentados aleatoriamente para cada estímulo. El criterio para finalizar esta fase fue que los sujetos terminaran los 60 ensayos durante dos sesiones consecutivas.

Entrenamiento al procedimiento de elección subóptima.

Durante esta fase los sujetos trabajaron en un programa concurrente encadenado, en el cuál había dos tipos de ensayo, forzados y libres. Los ensayos forzados consistían en la presentación de una de las dos palancas con la luz amarilla correspondiente a la operante, *ver figura 8*.

En este caso, si la palanca y el estímulo que se presentaba eran los relacionados a la opción discriminativa con probabilidad de 0.5 se presentaba un tono de 2.5Hz que con probabilidad de 1 entregaba un pellet como reforzador y con probabilidad de 0.5 se presentaba un tono de 5Hz que nunca entregaba reforzador, dando como resultado una probabilidad global de reforzamiento de 0.5.

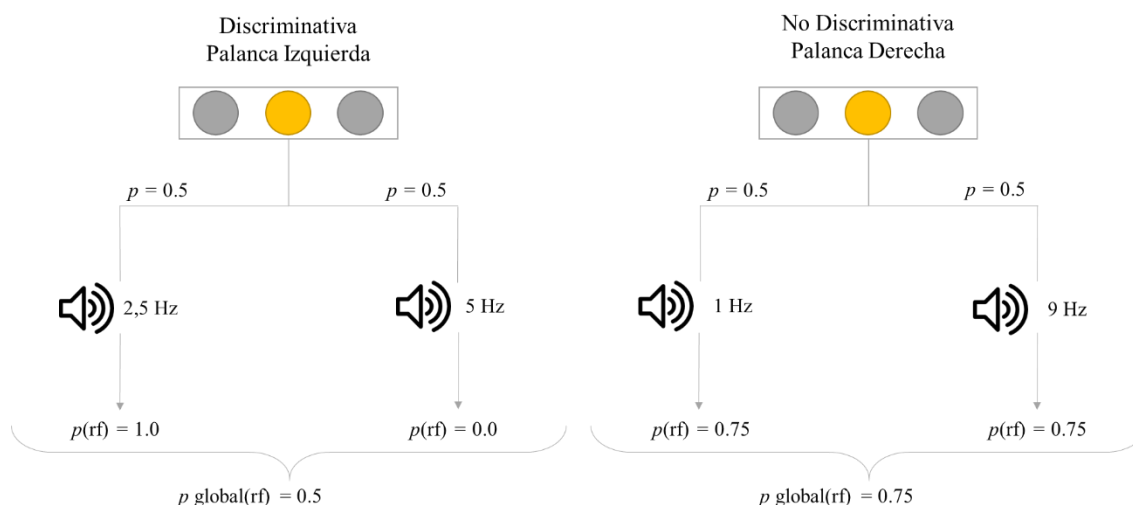


Figura 8. Diagrama del programa de elección subóptima utilizando estimulación auditiva

Por otro lado, si la palanca y el estímulo que se presentaban eran los relacionados a la opción no discriminativa con probabilidad de 0.5 se presentaba un tono de 1Hz que con probabilidad de 0.75 entregaba un pellet como reforzado y con probabilidad de 0.5 se presentaba un tono de 9Hz que con probabilidad de 0.75 entregaba un pellet como reforzador, dando como resultado una probabilidad de 0.75.

Los ensayos libres consistían en la presentación de las dos palancas y luces amarillas simultáneamente. Una respuesta en cualquiera de las opciones cancelaba la opción contraria y dependiendo de la elección se les presentaban las mismas contingencias de los ensayos forzados.

Una sesión estaba conformada de 60 ensayos divididos en 40 ensayos forzados, 20 de la opción discriminativa y 20 de la opción no discriminativa, y 20 ensayos libres, presentados de manera aleatoria y con un intervalo entre ensayos de 10 segundos.

En este experimento no se realizó reversión dado los resultados obtenidos, ya que se observó que los estímulos auditivos no favorecieron la discriminación de las contingencias en la opción discriminativa.

Resultados Experimento 2

Los resultados de este experimento se presentan de manera grupal dada su corta duración y estabilidad entre sujetos, cabe recordar que en este experimento participaron los cuatro sujetos que solo trabajaron la fase de entrenamiento en el experimento uno.

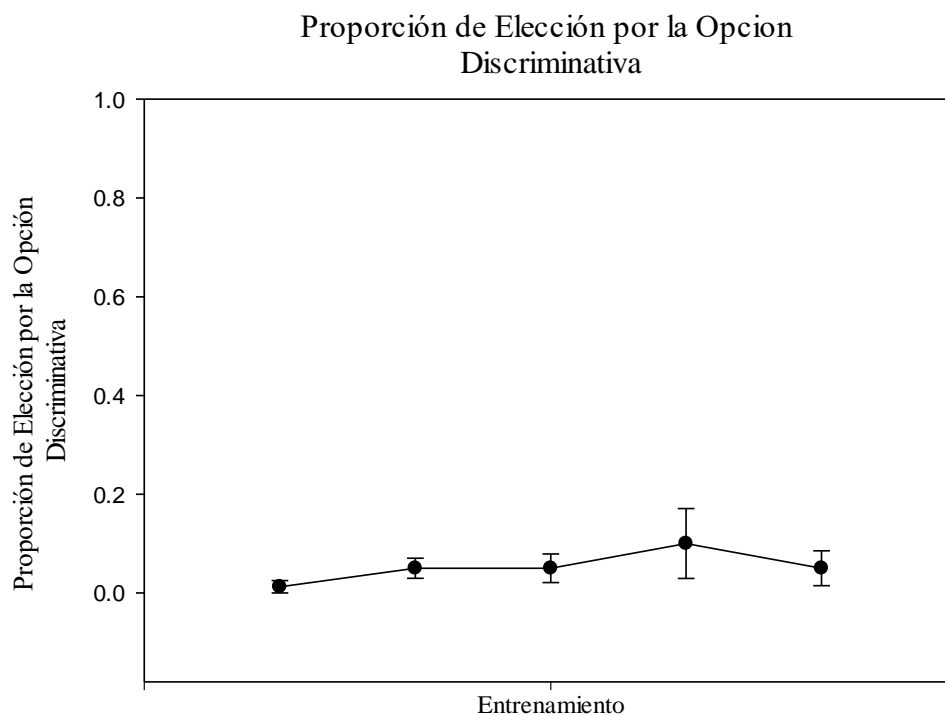


Figura 17. Promedio grupal de la proporción de elección por la opción discriminativa durante las últimas cinco sesiones del entrenamiento, utilizando estimulación auditiva

Al igual que en el experimento 1, se analizó la proporción de elección de los sujetos por la opción discriminativa, esta se puede observar en la *Figura 17*. Durante esta condición la

proporción de elección fue de $.05 \pm .02$ (media \pm error estándar de la media) los resultados de la prueba t realizada para comparar los datos contra la indiferencia, ($t(3) = -15.7, p < 0.00$), confirman que los sujetos respondieron de manera óptima durante esta condición.

Los resultados en cuanto al número de respuestas en los eslabones terminales de la opción discriminativa se pueden observar en la *Figura 18*, es claro que los estímulos no cumplieron su función discriminativa ($t(3) = 1.08, p < .35$), no hay diferencias en las respuestas que los sujetos emitieron a los diferentes estímulos. Lo que nos indica que el uso de estímulos auditivos no favoreció la discriminación de los sujetos a las contingencias de esta manipulación del programa.

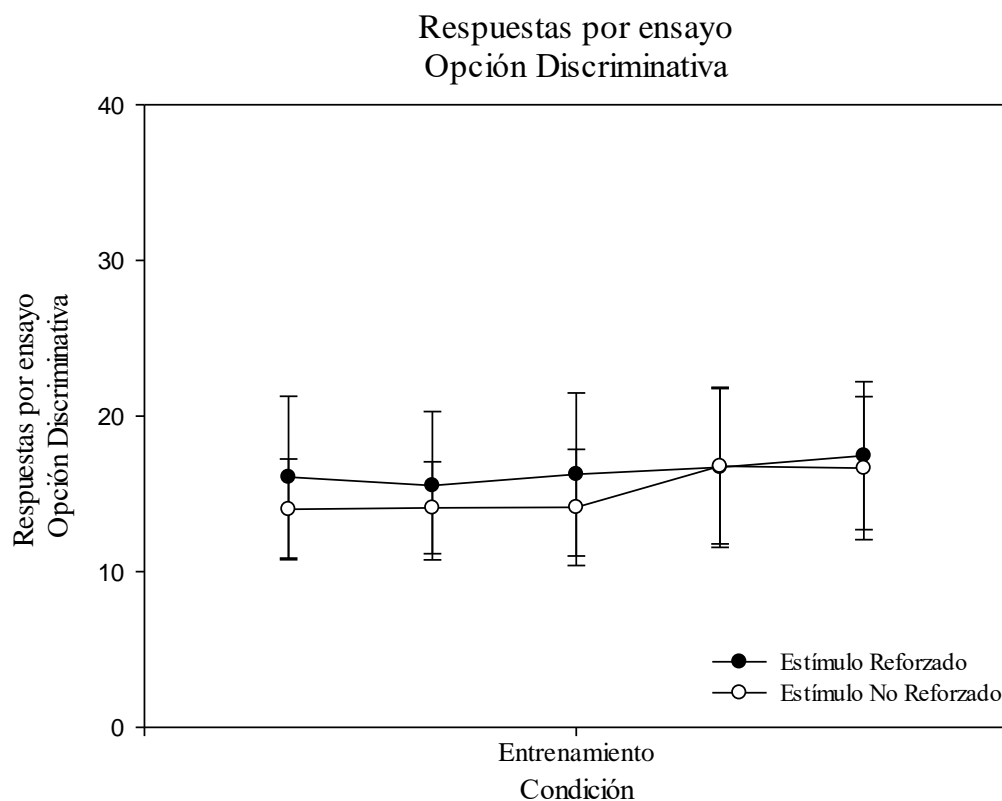


Figura 18. Promedios de las respuestas hacia los estímulos de la opción discriminativa. Los círculos negros representan las respuestas al estímulo que siempre fue reforzado y los círculos blancos al estímulo nunca reforzado.

El análisis del número de respuestas realizado a cada uno de los estímulos de la opción no discriminativa indicó que no hay diferencias estadísticamente significativas entre los estímulos presentados ($t(3) = 1.08, p < .35$), en la *Figura 19* se puede observar que los sujetos no tuvieron preferencia por ningún estímulo en particular, que como se ha mencionado anteriormente, es lo que generalmente se observa en esta alternativa. Pero en este caso particular no aporta información que apoye la discriminación de los sujetos dado que en el parámetro anterior se reportó la falta de discriminación.

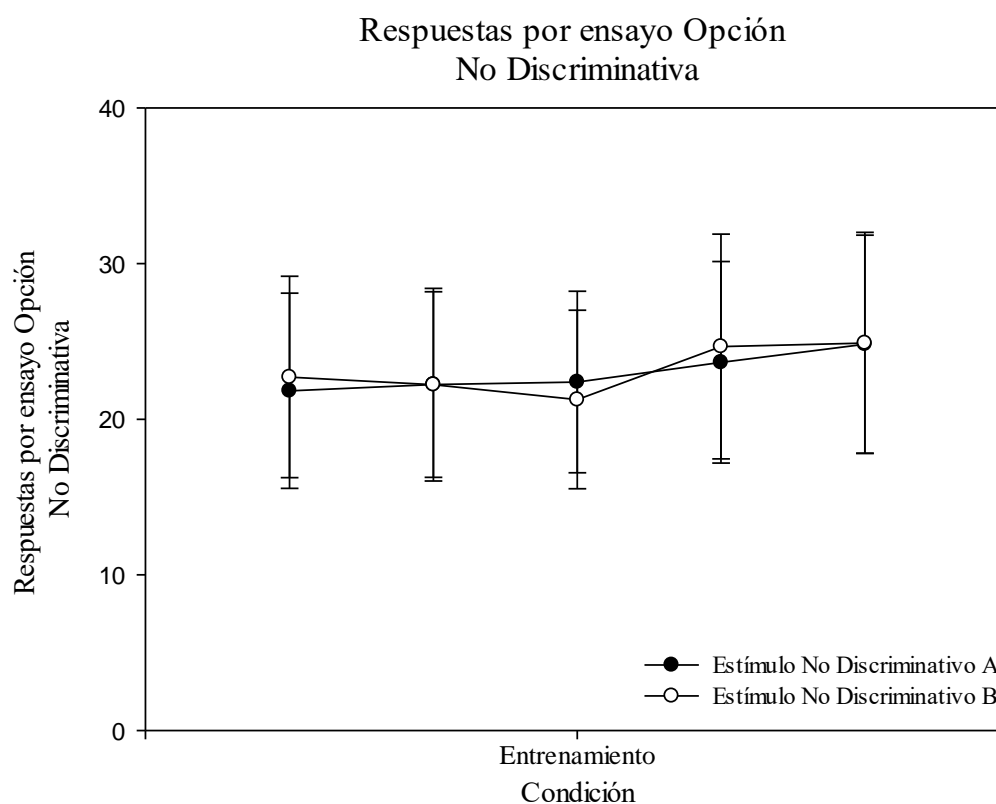


Figura 18. Promedios del número de respuestas a los estímulos de la opción no discriminativa

Como se describió en el método de este experimento dados los resultados antes mencionados los sujetos solo trabajaron la condición de entrenamiento, ya que sus respuestas indicaron que los estímulos no estaban cumpliendo su función.

Discusión Experimento 2

Como se mencionó anteriormente en la discusión del experimento 1, la modificación al protocolo utilizado en el experimento 2 surgió a partir de la búsqueda de un protocolo homólogo a los protocolos utilizados con las especies comúnmente utilizadas en este procedimiento. Fue así como esta modificación consistió en utilizar estímulos auditivos en los eslabones terminales de los programas concurrentes del protocolo.

Como se puede observar en los resultados, los sujetos mostraron una baja preferencia por la opción discriminativa, lo que indica optimalidad en su elección. Sin embargo, al procesar las respuestas emitidas a los diferentes estímulos de la opción discriminativa, los sujetos nuevamente respondieron de manera similar a cada uno de ellos, es decir, los sujetos continuaron teniendo problemas con la discriminación de las contingencias.

Anteriormente la literatura no ha reportado la implementación de estímulos auditivos en este protocolo, fue así como se fijó un criterio de número de sesiones para dar por concluida cada una de las condiciones, en este caso veinte sesiones. Sin embargo, ante los resultados tan contundentes y estables obtenidos en la condición de entrenamiento, se decidió dar por finalizado el experimento una vez concluidas las veinte sesiones de esta condición.

Como se mencionó anteriormente, al convertir las dos alternativas en no discriminativas los sujetos tienden a responder de manera óptima (Stagner et al., 2012; Stagner & Zentall, 2010), y nuevamente nos encontramos frente a un protocolo que no cubre las características de los protocolos generalmente utilizados con otras especies.

Adicionalmente de este experimento se obtuvo información interesante sobre el uso de estimulación auditiva con ratones, no podemos dejar de lado el hecho que para estos animales las cuatro frecuencias utilizadas (2.5 Hz, 5 Hz, 1 Hz y 9Hz) no fueron lo suficientemente diferentes para apoyar a su discriminación, esta información en un futuro puede ser utilizada cuando se quiera realizar una nueva implementación de esta especie en protocolos en los que se utilicen estímulos auditivos.

Experimento 3 Procedimiento de elección subóptima utilizando distribución espacial.

Justificación

En este experimento se trabajó con la distribución espacial y su papel en el aprendizaje de las contingencias del programa. Se exploró una modificación realizada al procedimiento empleado en ratas por Martínez et al. (2017). Esto dados los resultados encontrados con los estímulos visuales y los estímulos auditivos.

Método

Sujetos

Se utilizaron 7 de los sujetos del experimento 1, los sujetos continuaban en las mismas condiciones descritas anteriormente privados al 88% de su peso con libre acceso a agua.

Aparatos

Se utilizaron 2 de las cajas operantes (MED-Associates, Inc. Model ENV-307A) con dos paneles operativos idénticos, cada panel contaba con dos palancas retractiles a los lados de un receptáculo de pellets, sobre el que se encontraba una tecla de respuesta de nariz (MED-Associates, Inc. Model ENV-316M). Sobre cada palanca se encontraba un triple estimulador visual de leds ultrabrillantes de 3mm utilizados como estímulos. En reforzador se administraba con dos dispensadores de pellets (MED-Associates, Inc. Model ENV-203-14P). El resto de las características son las mismas a las descritas en el experimento 1.

Procedimiento

Para este experimento primero comenzó un grupo formado por los sujetos que permanecieron en las sesiones de ensayos forzados discriminativos con dos pellets como

reforzador del experimento 1. La muerte experimental del sujeto CD1-4 a la quinta sesión del procedimiento hizo que sus datos fueran descartados del análisis. Una vez obtenidos los primeros resultados, el grupo de sujetos del experimento 2 inició en este programa.

Entrenamiento a tecla de respuesta de nariz.

En estas sesiones los animales trabajaron en un programa RF1, aleatoriamente se encendía la luz de una de las dos teclas de respuesta de nariz, una respuesta en la tecla apagaba la luz de ésta y un pellet era entregado posterior a un intervalo entre ensayos de 10 segundos otro ensayo iniciaba nuevamente. Una sesión se conformaba de 50 ensayos repartidos en 25 para cada tecla de respuesta. Se calcularon las medianas de las latencias hacia cada tecla de respuesta y una vez que no diferían por más de un segundo en 3 sesiones consecutivas terminaban esta condición.

Entrenamiento al procedimiento de elección subóptima.

Durante esta fase los sujetos trabajaron en un programa concurrente encadenado, en el cuál había dos tipos de ensayo, forzados y libres. Los ensayos forzados consistían en la iluminación de una de las dos teclas de respuesta de nariz, ver *figura 9*.

Si la tecla iluminada era la correspondiente a la opción discriminativa con probabilidad de 0.5 se presentaba la palanca y luz roja izquierda del panel correspondiente que con probabilidad de 1 entregaba un pellet como reforzador y con probabilidad de 0.5 se presentaba la palanca y luz verde derecha que nunca entregaba reforzador, dando como resultado una probabilidad global de reforzamiento de 0.5.

Por otro lado, si la tecla iluminada era la correspondiente a la opción no discriminativa con probabilidad de 0.5 se presentaba la palanca y luz roja izquierda del panel correspondiente que con

probabilidad de 0.75 entregaba un pellet como reforzado y con probabilidad de 0.5 se presentaba la palanca y luz verde derecha que con probabilidad de 0.75 entregaba un pellet como reforzador, dando como resultado una probabilidad de 0.75.

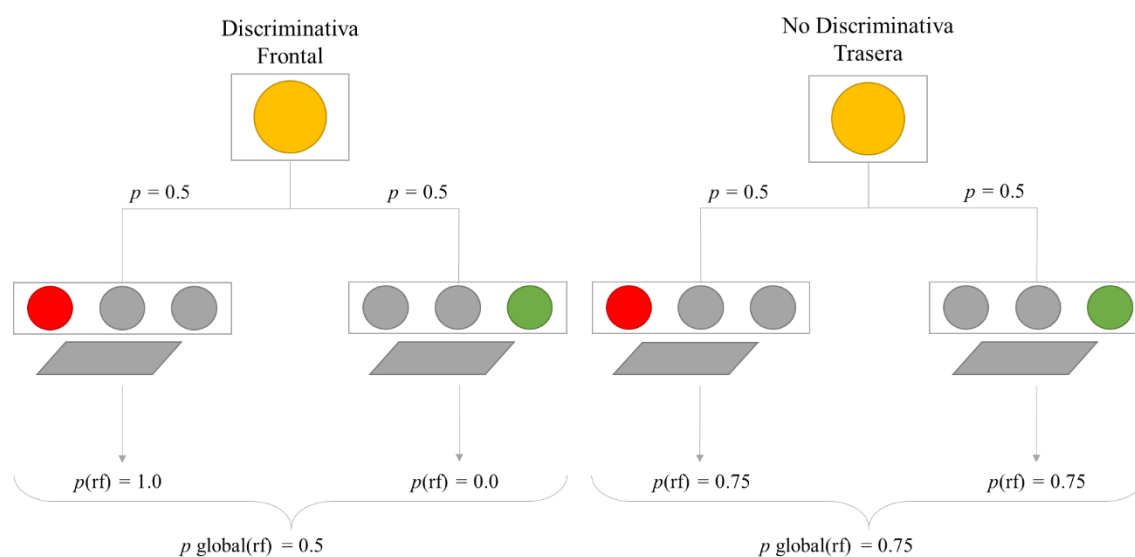


Figura 9. Diagrama de la fase de entrenamiento al programa de elección subóptima.

Para esta fase del experimento el panel frontal de la caja fue el correspondiente a la opción discriminativa y el panel trasero de la caja fue el correspondiente a la opción no discriminativa, esto es importante para la fase de reversión.

Los ensayos libres consistían en la iluminación de las dos teclas de respuesta. Una respuesta en cualquiera de las opciones cancelaba la opción contraria y dependiendo de la elección se les presentaban las mismas contingencias de los ensayos forzados.

Una sesión estaba conformada de 60 ensayos divididos en 40 ensayos forzados, 20 de la opción discriminativa y 20 de la opción no discriminativa, y 20 ensayos libres, presentados de manera aleatoria y con un intervalo entre ensayos de 10 segundos.

El criterio para finalizar esta fase fue que la proporción de elección se mantuviera estable y que las tasas de respuestas a los dos estímulos del eslabón terminal de la opción discriminativa dieran cuenta que los sujetos entendían la función de cada uno de ellos respondiendo de manera diferenciada, dentro de un número delimitado de sesiones que se ajustaba al desempeño de cada sujeto.

Reversión.

Para descartar que los resultados en la fase de entrenamiento fuesen por un sesgo de posición se revirtieron las posiciones de las alternativas, es decir, dado que la opción discriminativa se entrenó en el panel frontal para esta fase la opción discriminativa se colocó en el panel trasero y viceversa, además de una reversión adicional de palancas, ver *figura 10*.

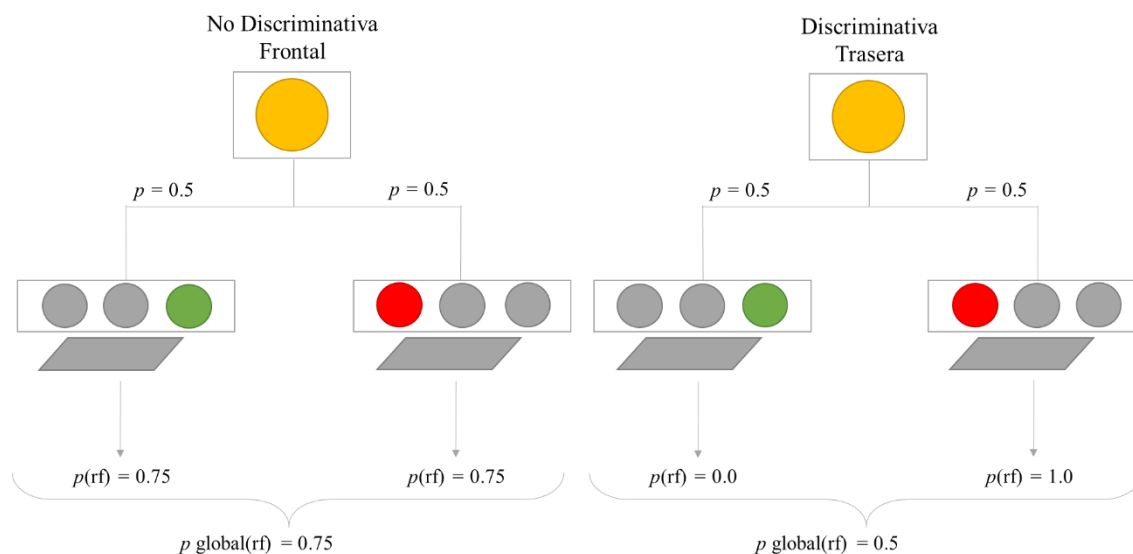


Figura 10. Diagrama de la reversión del programa de elección subóptima.

En este caso el programa funcionó de la siguiente manera, si la tecla iluminada era la correspondiente a la opción discriminativa con probabilidad de 0.5 se presentaba la palanca y luz roja derecha del panel correspondiente que con probabilidad de 1 entregaba un pellet como

reforzador y con probabilidad de 0.5 se presentaba la palanca y luz verde izquierda que nunca entregaba reforzador, dando como resultado una probabilidad global de reforzamiento de 0.5.

Por otro lado, si la tecla iluminada era la correspondiente a la opción no discriminativa con probabilidad de 0.5 se presentaba la palanca y luz roja derecha del panel correspondiente que con probabilidad de 0.75 entregaba un pellet como reforzado y con probabilidad de 0.5 se presentaba la palanca y luz verde izquierda que con probabilidad de 0.75 entregaba un pellet como reforzador, dando como resultado una probabilidad de 0.75.

Esta fase termino cuando los sujetos trabajaron el mismo número de sesiones que en la fase de entrenamiento.

El análisis de los datos para los tres experimentos consistió en el cálculo de la proporción de elección por la opción discriminativa, es decir, el número de ensayos en el que los sujetos eligieron la opción discriminativa entre el número de ensayos totales de elección y el promedio de las respuestas a los diferentes estímulos de la opción discriminativa y la opción no discriminativa durante los ensayos forzados.

Resultados Experimento 3

Para este experimento los resultados se presentan de manera grupal e individual dado que los resultados grupales no se obtienen de datos homogéneos entre sujetos, como en el caso del experimento dos, en el cual los resultados grupales reflejan la homogeneidad individual de los datos. Es importante puntualizar que en este experimento el análisis estadístico del número de respuestas a cada uno de los estímulos de las diferentes alternativas a lo largo de las dos

condiciones se realizó mediante un ANOVA de medidas repetidas, dado que permite dar cuenta de las diferentes interacciones que pueden tener los datos.

En la *Figura 20* se observa el promedio de la proporción de elección por la opción discriminativa de las últimas cinco sesiones de cada condición de los siete sujetos que se utilizaron en este experimento. La proporción de elección por la opción discriminativa durante el entrenamiento fue de 0.14 ± 0.07 (media \pm error estándar de la media). La estadística confirma que, como se puede observar en la gráfica, hay diferencias estadísticamente significativas entre la preferencia y la indiferencia ($t(6) = -4.95, p < 0.00$), los sujetos tienen una clara preferencia por la opción óptima.

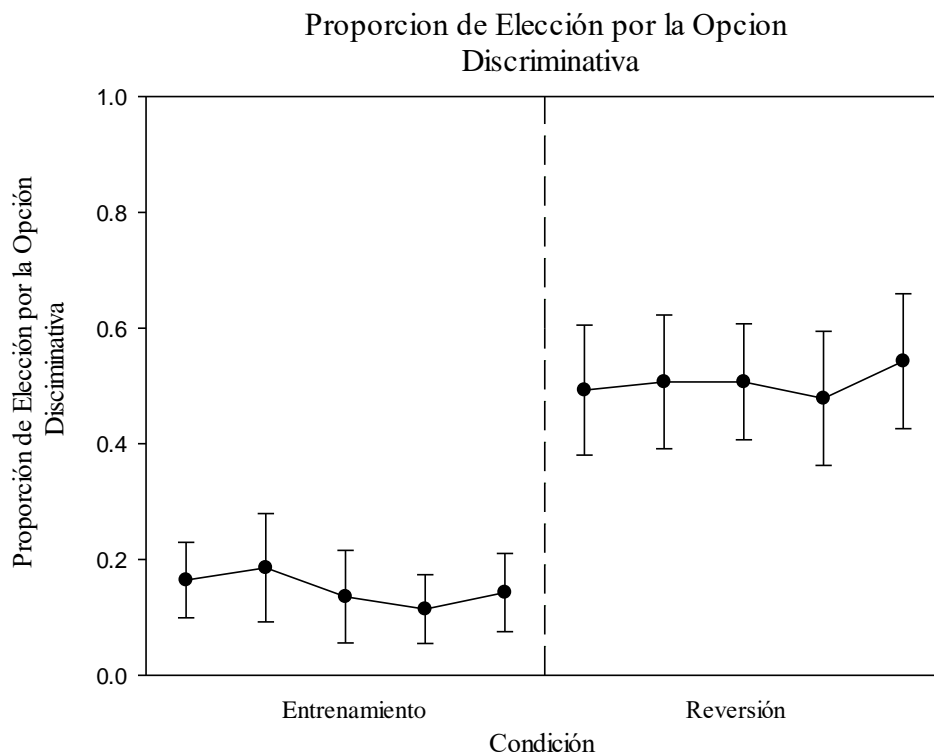


Figura 20. Promedio grupal de la proporción de elección por la opción discriminativa de las últimas cinco sesiones de cada fase del experimento. La línea punteada divide las diferentes condiciones.

Al realizar la reversión de contingencias la proporción de elección fue de $.5 \pm .1$, gráficamente podremos observar que los sujetos respondieron en torno a la indiferencia, resultados

que se pueden confirmar estadísticamente ($t(6) = 0.05$, $p < 0.95$) es decir, para esta condición, los sujetos fueron indiferentes a las opciones de elección.

En la *Figura 21* se pueden observar los datos individuales de los siete sujetos lo que da cuenta de cómo el resultado grupal no logra capturar de manera certera los resultados a nivel individual durante la fase de reversión, como lo hace en la fase de entrenamiento, dada la discrepancia de elección entre los sujetos.

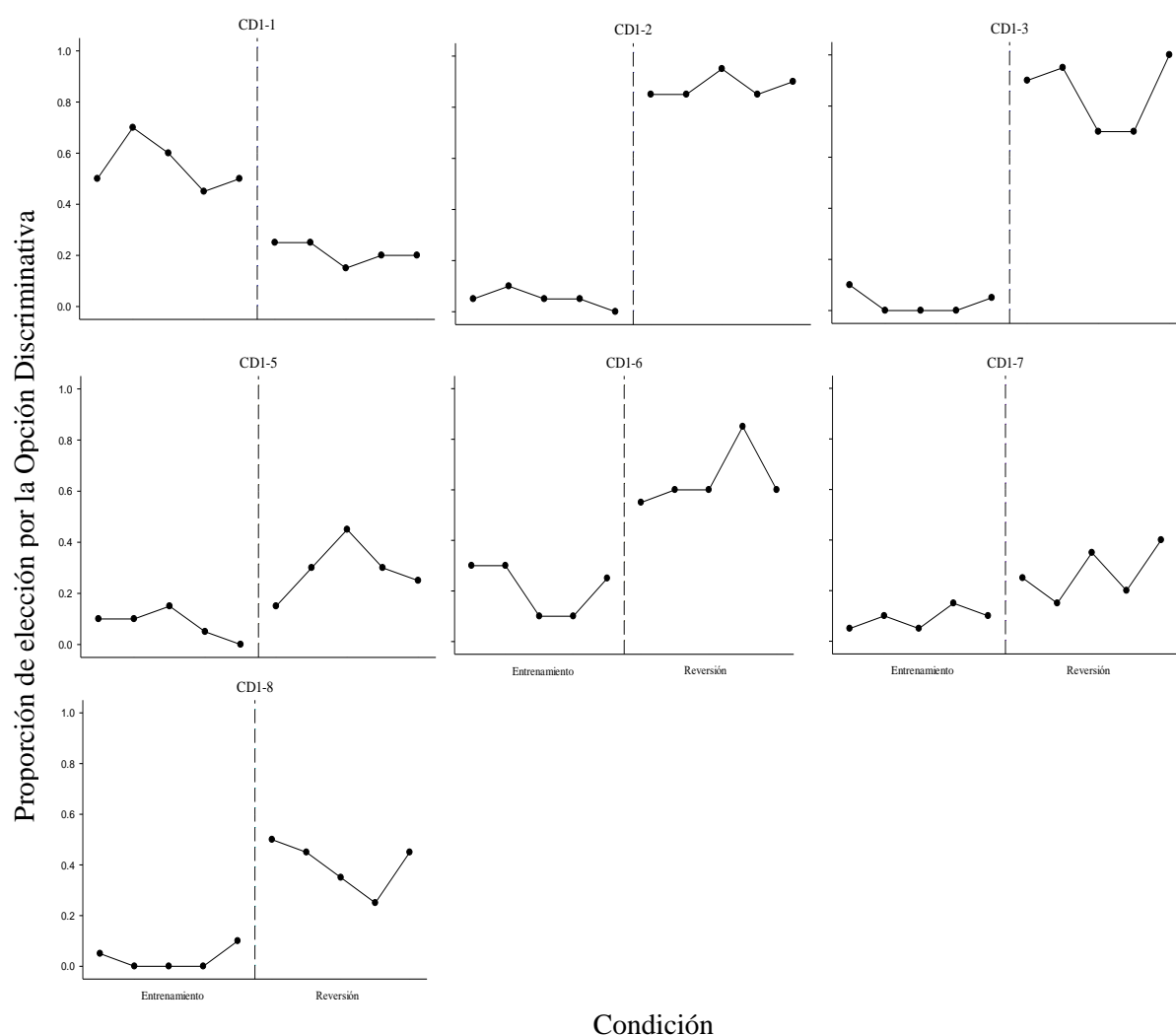


Figura 21. Proporción de elección por la opción discriminativa de las últimas cinco sesiones de cada fase del experimento. La línea punteada divide las diferentes condiciones.

De manera individual la mayoría de los sujetos a excepción del sujeto CD1-1 ($t(4) = 1.11$, $p < 0.32$) cuya preferencia ronda en la indiferencia durante la fase de entrenamiento, tuvieron una clara elección óptima CD1-2 ($t(4) = -28.4$, $p < 0.00$), CD1-3 ($t(4) = -23.5$, $p < 0.00$), CD1-5 ($t(4) = -16.4$, $p < 0.00$), CD1-6 ($t(4) = -6.3$, $p < 0.00$), CD1-7 ($t(4) = -21.9$, $p < 0.00$), CD1-8 ($t(4) = -23.5$, $p < 0.00$), es así como el resultado grupal durante el entrenamiento es más certero.

Sin embargo, durante la reversión de contingencias, la estadística indica que solo los sujetos CD1-5 ($t(4) = -4.33$, $p < 0.01$) y CD1-7 ($t(4) = -4.96$, $p < 0.00$), mantuvieron proporciones de elección bajas por la opción discriminativa, es decir que fueron óptimos en ambas condiciones del experimento.

Los sujetos CD1-6 ($t(4) = 2.62$, $p < 0.05$) y CD1-8 ($t(4) = -2.23$, $p < 0.08$) mantuvieron respuestas en torno a la indiferencia, es decir que estos sujetos durante la fase de reversión respondieron de manera similar a las opciones de elección.

En el caso de los sujetos CD1-2 ($t(4) = 19$, $p < 0.00$) y CD1-3 ($t(4) = 5.53$, $p < 0.00$) la estadística indica una clara preferencia por la opción subóptima, esto sin lugar a duda es resultado de que los sujetos mantuvieron la misma estrategia de elección empleada durante el entrenamiento. La misma situación se presenta en el sujeto CD1-1 ($t(4) = -15.5$, $p < 0.00$) solo que, a la inversa, durante la fase de entrenamiento respondió de manera subóptima y al realizar la reversión respondió de manera óptima.

En general los resultados de la fase de reversión, a excepción de dos sujetos, difirieron de la elección óptima observada durante el entrenamiento, la evidencia estadística solo permite tener conclusiones individuales, pero nada concluyente a nivel grupal.

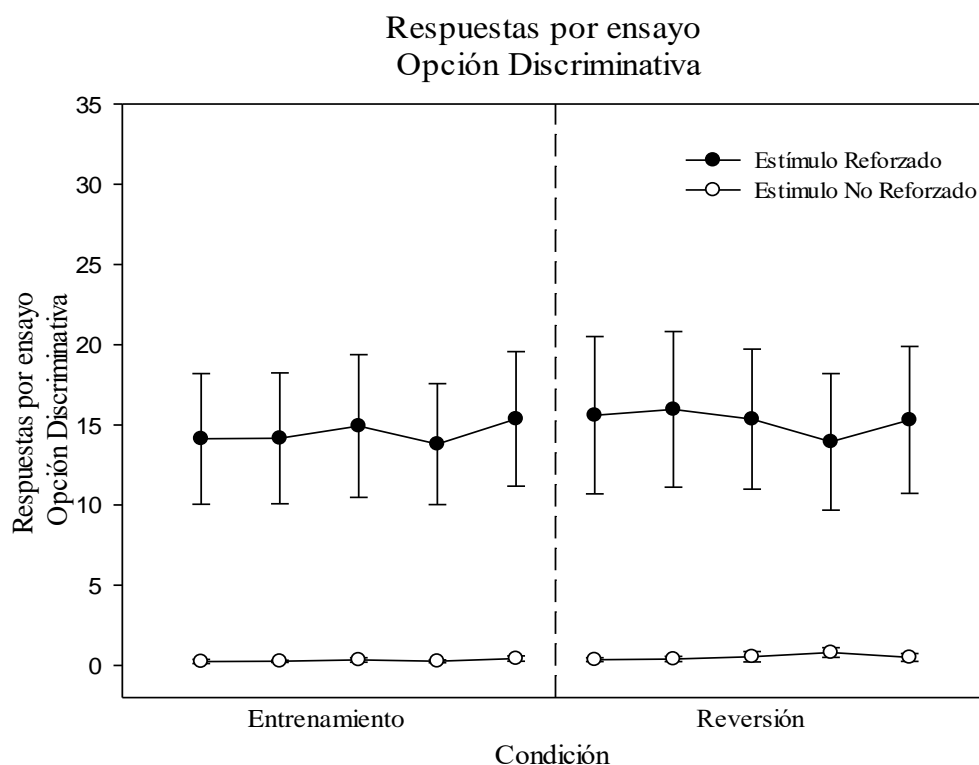


Figura 22. Promedios de las respuestas hacia los estímulos de los eslabones terminales en la opción discriminativa. Los círculos negros representan las respuestas al estímulo que siempre fue reforzado y los círculos blancos al estímulo nunca reforzado. La línea punteada divide las diferentes condiciones.

Los resultados en cuanto al número de respuestas en los eslabones terminales de la opción discriminativa indican que los estímulos cumplían su función discriminativa ya que los sujetos respondieron de manera significativamente diferente a cada uno de ellos ($F_{(1,6)} = 13.91$, $p = 0.009$); cómo se puede observar en la *Figura 22* realizaron un mayor número de respuestas al estímulo que predecía la entrega del reforzador. Esta diferencia en las tasas de respuesta fue consistente durante la condición de reversión ($F_{(1,6)} = 0.08$, $p = 0.78$) y no se observó una interacción entre las respuestas a los estímulos y la reversión ($F_{(1,6)} = 0.02$, $p = 0.88$).

Como se puede observar en la *Figura 22*, las barras de error estándar de las respuestas hacia el estímulo que predecía la entrega del reforzador son considerablemente grandes, esto a raíz de

que cada uno de los sujetos emitiera números de respuesta diferentes, como se muestra en la *Figura 23*. Durante la fase de entrenamiento todos los sujetos respondieron de manera estadísticamente diferente a cada uno de los estímulos de la opción discriminativa CD1-1 ($F_{(1,4)}= 3624.9, p=0.0$), CD1-2 ($F_{(1,4)}= 1116.8, p=0.0$), CD1-3 ($F_{(1,4)}= 837.86, p=0.0$), CD1.5 ($F_{(1,4)}= 1168.5, p=0.0$), CD1-6 ($F_{(1,4)}= 4003.6, p=0.0$), CD1-7 ($F_{(1,4)}= 979.7, p=0.0$) y CD1-8 ($F_{(1,4)}= 48.4, p=0.0$).

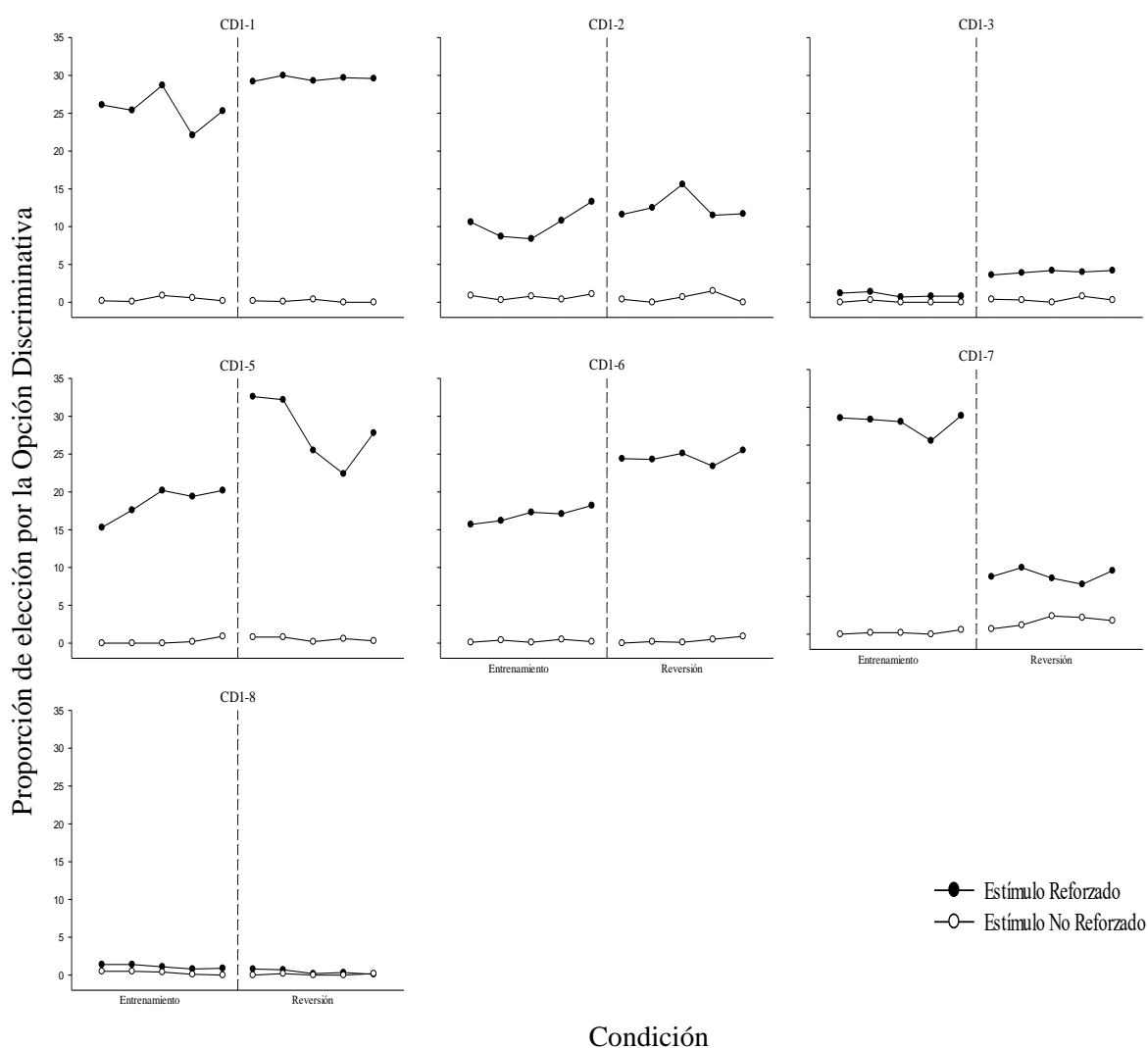


Figura 23. Respuestas individuales hacia los estímulos de los eslabones terminales en la opción discriminativa durante las últimas cinco sesiones de cada condición. Los círculos negros representan las respuestas al estímulo que siempre fue reforzado y los círculos blancos al estímulo nunca reforzado. La línea punteada divide las diferentes condiciones.

Solo para el sujeto CD1-2 las diferencias se mantuvieron constantes en la condición de reversión ($F_{(1,4)} = 1.5$, $p=0.27$), y no se presenta interacción entre las respuestas a los estímulos y la reversión ($F_{(1,4)} = 2.6$, $p=0.1$).

En el caso de los sujetos CD1-1, CD1-3, CD1-5 y CD1-6 hubo un aumento en el número de respuestas emitidas al estímulo que predecía la entrega del reforzador durante la condición de reversión y estas diferencias fueron estadísticamente significativas entre las diferentes condiciones CD1-1 ($F_{(1,4)} = 11.36$, $p=0.02$), CD1-3 ($F_{(1,4)} = 137.8$, $p=0.0$), CD1-5 ($F_{(1,4)} = 11.65$, $p=0.02$) y CD1-6 ($F_{(1,4)} = 409.8$, $p=0.0$), lo que a su vez nos indica una interacción entre las respuestas emitidas y la condición en la que trabajaron los sujetos, CD1-1 ($F_{(1,4)} = 13.6$, $p=0.02$), CD1-3 ($F_{(1,4)} = 102.6$, $p=0.0$), CD1-5 ($F_{(1,4)} = 12.5$, $p=0.02$) y CD1-6 ($F_{(1,4)} = 245.7$, $p=0.0$).

El sujeto CD1-7 por su lado disminuyó significativamente el número de respuestas que emitió al estímulo que predecía la entrega del reforzador ($F_{(1,4)} = 1062.8$, $p=0.0$) y aunque hay una interacción entre las respuestas emitidas y la condición ($F_{(1,4)} = 3259.5$, $p=0.0$) las respuestas a los diferentes estímulos continuó siendo significativamente diferente en las diferentes condiciones.

Contrario a los casos anteriores, el sujeto CD1-8 disminuyó el número de respuestas emitidas al estímulo predictor de reforzador al punto de traslaparse con las respuestas al estímulo que predecía la ausencia de éste ($F_{(1,4)} = 40.6$, $p=0.0$), presentándose una interacción entre las respuestas emitidas y la condición en la que trabajó el sujeto ($F_{(1,4)} = 10.3$, $p=0.03$).

Nuevamente se analizaron las respuestas a los eslabones terminales de la opción no discriminativa, esto para corroborar que los estímulos habían cumplido la función de no ser discriminativos. En la *Figura 24* se puede observar que el promedio del número de respuestas a

cada estímulo fue similar ($F_{(1,6)} = .03$, $p = .85$) es decir, los sujetos no tuvieron una preferencia por ninguna estímulo de esta alternativa, al igual que en la opción discriminativa el resultado fue consistente durante la reversión ($F_{(1,6)} = .00$, $p = .92$) y no hay interacción entre número de respuestas y la condición ($F_{(1,6)} = .06$, $p = .80$). Lo que indica que los estímulos no daban ningún tipo de información relacionada a la entrega del reforzador y de ahí las respuestas de los sujetos.

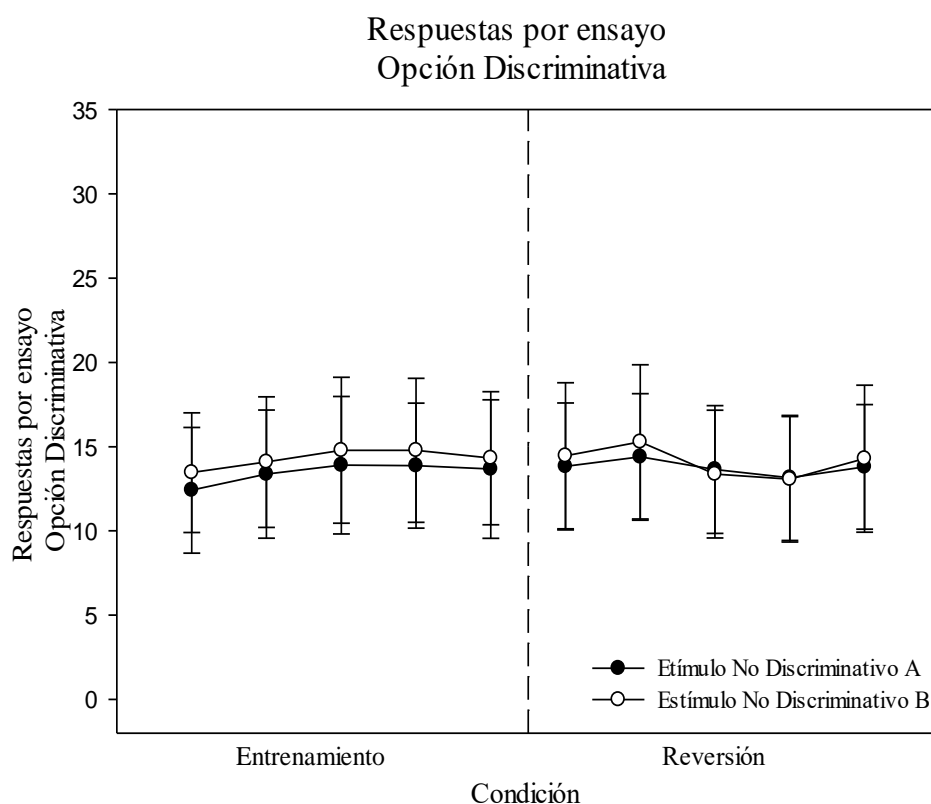


Figura 24. Promedios del número de respuestas a los eslabones terminales de la opción No discriminativa. Los círculos negros y blancos representan las respuestas a los diferentes estímulos de la opción. La línea punteada divide las diferentes condiciones.

Estos resultados son medianamente consistentes con lo observado a nivel individual, ya que como se puede observar en la figura 25, algunos sujetos respondieron diferencialmente a los estímulos de esta opción, los casos más marcados son los de los sujetos CD1-5 ($F_{(1,4)} = 681.8$, $p = 0.00$) y CD1-7 ($F_{(1,4)} = 2639.6$, $p = 0.00$) cuyas diferencias son estadísticamente significativas,

esta diferencia se mantiene constante tanto en el entrenamiento como en la reversión CD1-5 ($F_{(1,4)} = 0.4, p = 0.54$) y CD1-7 ($F_{(1,4)} = 0.22, p = 0.66$) y en ambos casos existe una interacción entre el número de respuestas y la condición en la que trabajaron CD1-5 ($F_{(1,4)} = 30.6, p = 0.00$) y CD1-7 ($F_{(1,4)} = 11.25.6, p = 0.02$).

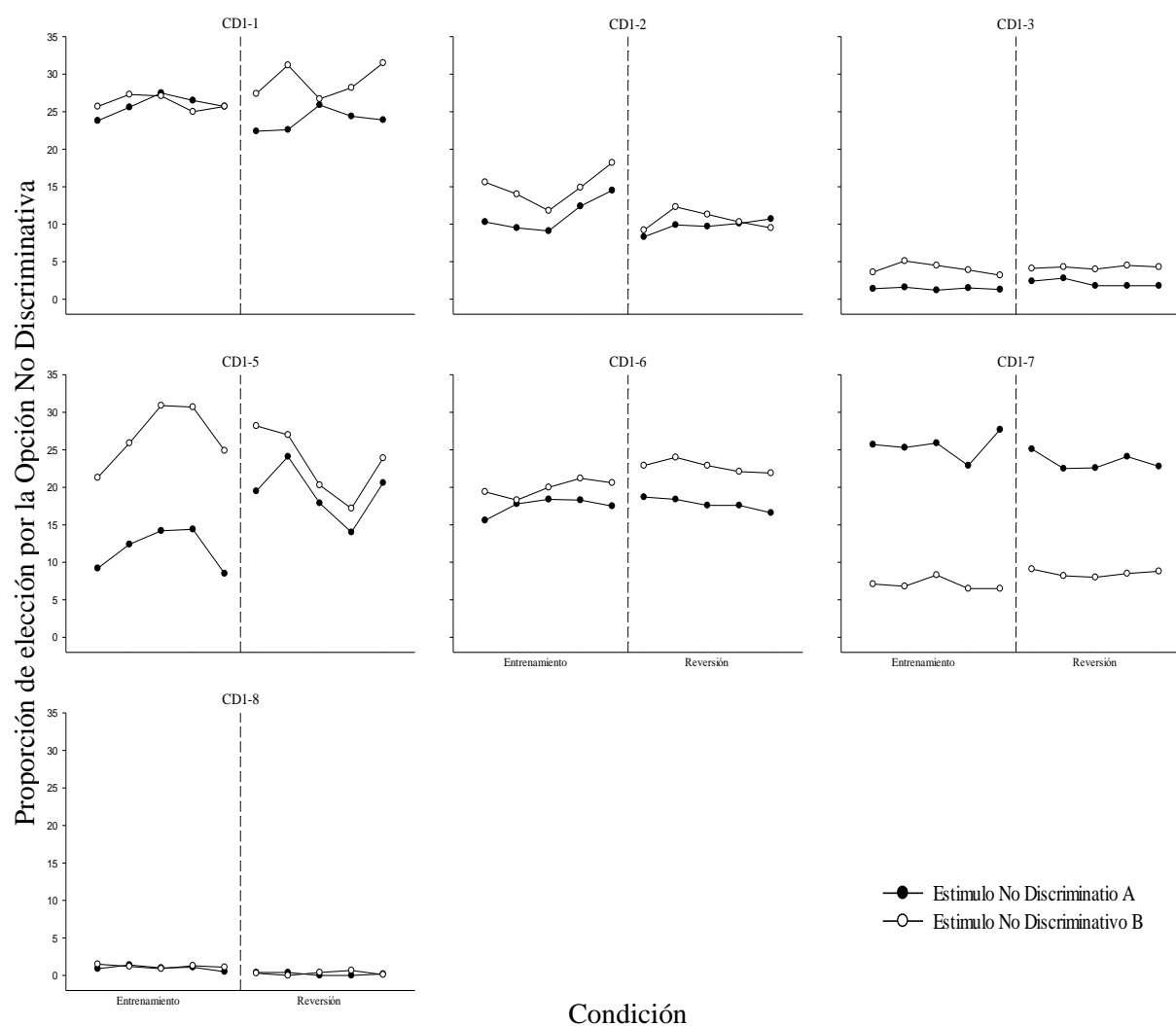


Figura 25. Respuestas individuales hacia los estímulos de los eslabones terminales en la opción No discriminativa durante las últimas cinco sesiones de cada condición. Los círculos negros y blancos representan las respuestas a los diferentes estímulos de la opción. La línea punteada divide las diferentes condiciones.

Los sujetos CD1-1, CD1-2 y CD1-6 se encontraron en un caso similar al de los sujetos antes mencionados aunque la representación gráfica de estos resultados no sea tan clara como en caso anterior, así mismo mantuvieron respuestas diferenciadas a los estímulos de la opción no discriminativa CD1-1 ($F_{(1,4)} = 9.21$, $p = 0.03$), CD1-2 ($F_{(1,4)} = 25.6$, $p = 0.00$) y CD1-6 ($F_{(1,4)} = 329.1$, $p = 0.00$). Este resultado se mantiene durante la reversión CD1-1 ($F_{(1,4)} = 0.8$, $p = 0.42$), CD1-2 ($F_{(1,4)} = 6.2$, $p = 0.06$) y CD1-6 ($F_{(1,4)} = 4.9$, $p = 0.08$) y se presenta una interacción entre el número de respuestas y la condición CD1-1 ($F_{(1,4)} = 16.3$, $p = 0.01$), CD1-2 ($F_{(1,4)} = 16.73$, $p = 0.01$) y CD1-6 ($F_{(1,4)} = 10$, $p = 0.03$).

El sujeto CD1-3 de igual manera respondió de manera diferenciada a los estímulos de esta opción ($F_{(1,4)} = 287.7$, $p = 0.00$), durante la reversión el sujeto cambió de manera significativa sus respuestas ($F_{(1,4)} = 9.3$, $p = 0.03$) y no se presentó una interacción entre sus respuestas y la condición ($F_{(1,4)} = 1.31$, $p = 0.31$).

Por último el sujeto CD1-8 fue el único que no respondió de manera diferenciada a los estímulos de esta opción ($F_{(1,4)} = 1.6$, $p = 0.27$), durante la reversión el sujeto disminuyó el número de respuestas marcando diferencias significativas por condición ($F_{(1,4)} = 126.3$, $p = 0.00$) y no hubo una interacción entre el número de respuestas y la condición trabajada ($F_{(1,4)} = 0.22$, $p = 0.65$).

Discusión Experimento 3.

Los resultados del experimento 3 a diferencia de los primeros dos experimentos, se presentan tanto en forma grupal como individual ya que esto apoya una mejor representación de la información obtenida en este experimento.

En un primer momento a este protocolo solo ingresaron los sujetos del experimento 1, que no lograron modificar sus respuestas a las nuevas contingencias del programa presentadas en la condición de reversión. Posterior a la finalización del experimento 2, estos sujetos se integraron a esta modificación, dados los resultados preliminares observados en los primeros sujetos.

De manera general se podría concluir que esta modificación no logra cubrir las características que estamos buscando para un protocolo homólogo al utilizado con otras especies. Como se puede observar en las figuras, los resultados grupales solo representan de manera parcial los resultados obtenidos, ya que los datos individuales son bastante particulares.

Se encontró que los resultados de la proporción de elección por la opción discriminativa grupal no son contundentes durante las condiciones del experimento, dado que durante la fase de reversión la elección del grupo gira en torno a la indiferencia, contrario a lo encontrado durante el entrenamiento, lo que daría pauta a concluir que los sujetos no lograron modificar sus respuestas en torno a las nuevas contingencias del programa. Al observar los datos individuales podemos dar cuenta que solo dos sujetos lograron realizar la modificación de sus respuestas a las nuevas contingencias del programa, tres de los sujetos tendieron a mantener sus respuestas en el panel elegido durante el entrenamiento y dos sujetos respondieron de manera indistinta a las opciones. Con estos resultados no podemos realizar una conclusión adecuada respecto a si los ratones son óptimos o son subóptimos.

Por otro lado, los resultados encontrados en torno al número de respuestas hacia los estímulos de la opción discriminativa, en la mayoría de los sujetos se encontraron diferencias significativas durante el entrenamiento y esto se mantuvo en la reversión de condiciones. Dicho resultado es importante para los objetivos de encontrar un protocolo homólogo a los

procedimientos utilizados en otras especies. Deja concluir que esta modificación facilito la discriminación de los ratones a las contingencias del programa de manera más puntual. El error estándar que se muestra en la gráfica grupal es a raíz de la modificación del número de respuestas emitido por los sujetos ante cada uno de los estímulos y aunque en algunos sujetos las diferencias fueron muy marcadas la discriminación entre estímulos se mantuvo.

Los resultados grupales de las respuestas emitidas a los estímulos de la opción no discriminativa son lo generalmente reportado por la literatura, no se encuentran diferencias entre estímulos dado que no brindan información diferente entre sí (Laude, Stagner, et al., 2014; Trujano & Orduña, 2015; Zentall, 2014; Zentall & Stagner, 2011). Sin embargo, al presentar los datos individuales se pueden percatar algunos detalles como el hecho de que algunos de los animales respondieron de manera diferenciada entre los estímulos de esta opción contrario a lo reportado en la literatura, de este hecho se puede concluir que los sujetos mantuvieron la estrategia empleada durante los ensayos de la opción discriminativa, durante los ensayos en la opción no discriminativa.

Lo descrito anteriormente, permite concluir que las características de este protocolo son las más cercanas a las requeridas para tener homólogo a lo implementado con otras especies. El que este procedimiento permita que los animales discriminen entre estímulos acerca este experimento a los resultados reportados en la amplia literatura de elección subóptima (Gipson et al., 2009; Kendall, 1974; Laude, Beckmann, et al., 2014; Stagner & Zentall, 2010; Zentall, Case, & Berry, 2017a; Zentall & Stagner, 2011), y de esta manera se puedan realizar comparaciones de los resultados entre especies. Por ahora, sabemos que las palomas son subóptimas (Gipson et al., 2009; Smith, Bailey, Chow, Beckmann, & Zentall, 2016; Smith, Beckmann, & Zentall, 2017; Zentall,

2016b; Zentall & Stagner, 2011), que las ratas son óptimas (Martínez et al., 2017; Trujano et al., 2016; Trujano & Orduña, 2015), y aunque la información obtenida con el presente trabajo no es concluyente, se puede observar una tendencia de los ratones a la optimalidad, por lo que es necesaria mayor investigación al respecto para obtener más información sobre los resultados entre especies.

Discusión general.

En Psicología, la conducta de elección es uno de los temas que más se ha estudiado, dando surgimiento a diversas teorías que tratan de explicar el por qué y el cómo de las elecciones, existen explicaciones ecológicas, conductuales, fisiológicas, etc., todas ellas interesantes y de gran valor teórico. Todas ellas además desarrolladas en ambientes naturales y de laboratorio con animales humanos y no humanos, esto para obtener resultados generalizables que respalden las teorías, las nuevas preguntas, los términos y modelos que surgen a partir de las diferentes investigaciones que se realizan. Siguiendo esta línea, el presente trabajo trata de aportar información que complemente los hallazgos reportados por diferentes grupos de investigación interesados en el fenómeno denominado Elección subóptima.

Cabe señalar que este conjunto de experimentos es el primer acercamiento formal de esta especie a uno de los protocolos conductuales más utilizados para estudiar la elección subóptima, de ahí deriva esta exploración de posibilidades utilizadas en otras especies para encontrar el protocolo conductual más adecuado según los conocimientos previos de la tarea (Kendall, 1974; Laude, Beckmann, et al., 2014; Trujano & Orduña, 2015; Zentall, 2016a).

Como se mencionó en la introducción, una de las hipótesis que están relacionadas a los resultados obtenidos en torno al fenómeno de elección subóptima es el papel que juega el estímulo predictor de la entrega de reforzador como reforzador condicionado y el estímulo predictor de la ausencia del reforzador como inhibidor condicionado (Stagner et al., 2012; Trujano et al., 2016; Zentall, 2016a), por ello era sustancial la discriminación de los sujetos a los estímulos de la opción discriminativa. Es por ello por lo que las modificaciones al programa implementadas en los experimentos uno y dos no son las adecuadas para el estudio de la elección subóptima dado que, en ambas aplicaciones, los sujetos no respondieron de manera diferenciada entre los estímulos de la opción discriminativa, resultados contrarios a los reportados en la literatura (Rivera, 2017; Stagner & Zentall, 2010; Trujano & Orduña, 2015; Zentall, 2016a).

De este conjunto de experimentos no se obtuvieron resultados concluyentes del desempeño los ratones en torno al fenómeno de Elección subóptima, por el contrario, se obtuvo información de las consideraciones que se deben tomar en cuenta para que los ratones trabajen en un protocolo conductual comparable a los utilizados con otras especies. Los resultados obtenidos en los tres experimentos nos dan pauta a decir que los ratones no son subóptimos, claro que para decir si son óptimos es necesaria realizar una réplica de la aplicación con sujetos que no tengan la historia de reforzamiento adquirida por los sujetos a lo largo de los experimentos uno y dos.

El presente trabajo se une a los estudios enfocados en la búsqueda de la generalidad de fenómenos conductuales comúnmente trabajados con otras especies (Cavdaroglu & Balci, 2016; Colacicco, Welzl, Lipp, & Würbel, 2002; Garner, Thogerson, Würbel, Murray, & Mench, 2006). En este caso particular, la implementación de este protocolo en ratones abre la brecha para trabajar algunas de las teorías que han surgido alrededor del fenómeno. Como la que hace referencia a que

los resultados obtenidos en palomas y ratas están relacionados al valor incentivo que los organismos otorgan a los diferentes estímulos de la opción discriminativa (Chow et al., 2017; Martínez et al., 2017; Zentall, Case, & Berry, 2017b; Zentall, Laude, Stagner, & Smith, 2015), la que involucra el papel que tiene el inhibidor condicionado realizando ensayos de sumación como los reportados en la literatura (Laude, Stagner, et al., 2014; Trujano et al., 2016) o la implementación de experimentos relacionados a los factores que McDevitt et al. (2016) relacionaron con la elección subóptima, solo por mencionar algunas de las posibilidades.

Además de poder tener un acercamiento a las bases neurobiológicas detrás de este fenómeno, dados los avances que esta área tiene en el modelamiento de procesos neurológicos en ratones (Chauvet et al., 2017; Dai, Jackson, Davis, Blakely, & McMahon, 2017; Fan, Donsante, Jinnah, & Hess, 2018; Illiano et al., 2017; Simpson & Kellendonk, 2017), y que al conjugarlos con el procedimiento ayudarán a tener un mejor entendimiento del fenómeno dada la posibilidad de explorar algunas de las hipótesis que han surgido (Smith et al., 2018), no olvidemos que este procedimiento en animales no humanos es considerado un homólogo a situaciones de juego patológico a las que están expuestos los seres humanos y mayor información del mismo podría aportar información para su tratamiento.

Referencias.

- Badia, P., & Culbertson, S. (1972). The relative aversiveness of signalled vs unsignalled escapable and inescapable shock. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, *17*(3), 463–471.
- Bagby, R. M., Vachon, D. D., Bulmash, E. L., Toneatto, T., Quilty, L. C., & Costa, P. T. (2007). Pathological gambling and the five-factor model of personality. *Personality and Individual Differences*, *43*(4), 873–880. <https://doi.org/10.1016/j.paid.2007.02.011>
- Cavdaroglu, B., & Balci, F. (2016). Mice can count and optimize count-based decisions. *Psychonomic Bulletin & Review*, *23*(3), 871–876. <https://doi.org/10.3758/s13423-015-0957-6>
- Chauvet, N., Romano, N., Lafont, C., Guillou, A., Galibert, E., Bonnefont, X., ... Coutry, N. (2017). Complementary actions of dopamine D2 receptor agonist and anti-vegf therapy on tumoral vessel normalization in a transgenic mouse model. *International Journal of Cancer*, *140*(9), 2150–2161. <https://doi.org/10.1002/ijc.30628>
- Chow, J. J., Smith, A. P., Wilson, A. G., Zentall, T. R., & Beckmann, J. S. (2017). Suboptimal choice in rats: Incentive salience attribution promotes maladaptive decision-making. *Behavioural Brain Research*, *320*, 244–254. <https://doi.org/10.1016/j.bbr.2016.12.013>
- Colacicco, G., Welzl, H., Lipp, H.-P., & Würbel, H. (2002). Attentional set-shifting in mice: modification of a rat paradigm, and evidence for strain-dependent variation. *Behavioural Brain Research*, *132*(1), 95–102.
- Dai, H., Jackson, C. R., Davis, G. L., Blakely, R. D., & McMahon, D. G. (2017). Is dopamine transporter-mediated dopaminergic signaling in the retina a noninvasive biomarker for attention-deficit/hyperactivity disorder? A study in a novel dopamine transporter variant Val559 transgenic mouse model. *Journal of Neurodevelopmental Disorders*, *9*(1), 38. <https://doi.org/10.1186/s11689-017-9215-8>
- Dinsmoor, J. A. (1983). Observing and conditioned reinforcement. *Behavioral Brain Sciences*, *6*(4), 693–704.

- Fan, X., Donsante, Y., Jinnah, H. A., & Hess, E. J. (2018). Dopamine Receptor Agonist Treatment of Idiopathic Dystonia: A Reappraisal in Humans and Mice. *Journal of Pharmacology and Experimental Therapeutics*, 365(1), 20–26.
<https://doi.org/10.1124/jpet.117.246348>
- Garner, J. P., Thogerson, C. M., Wurbel, H., Murray, J. D., & Mench, J. A. (2006). Animal neuropsychology: validation of the Intra-Dimensional Extra-Dimensional set shifting task for mice. *Behavioural Brain Research*, 173(1), 53–61.
<https://doi.org/10.1016/j.bbr.2006.06.002>
- Gipson, C. D., Alessandri, J. J., Miller, H. C., & Zentall, T. R. (2009). Preference for 50% reinforcement over 75% reinforcement by pigeons. *Learning & Behavior*, 37(4), 289–298.
<https://doi.org/10.3758/LB.37.4.289>
- Green, L., & Rachlin, H. (1977). Pigeons' preferences for stimulus information: effects of amount of information. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 27(2), 255–263.
- Holt, D. D., Carlson, J. D., Follett, V. L., Jerdee, N. J., Kelley III, D. P., Muhich, K. M., ... Reetz, N. K. (2013). Response factors in delay discounting: Evidence for Pavlovian influences on delay discounting in pigeons. *Behavioural Processes*, 98, 37–43.
<https://doi.org/10.1016/j.beproc.2013.04.009>
- Illiano, P., Bass, C. E., Fichera, L., Mus, L., Budygin, E. A., Sotnikova, T. D., ... Gainetdinov, R. R. (2017). Recombinant Adeno-Associated Virus-mediated rescue of function in a mouse model of Dopamine Transporter Deficiency Syndrome. *Scientific Reports*, 7, 46280.
<https://doi.org/10.1038/srep46280>
- Kendall, S. B. (1974). Preference For Intermittent Reinforcement. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 21(3), 463–473.
- Laude, J. R., Beckmann, J. S., Daniels, C. W., & Zentall, T. R. (2014). Impulsivity affects suboptimal gambling-like choice by pigeons. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 40(1), 2–11. <https://doi.org/10.1037/xan0000001>
- Laude, J. R., Stagner, J. P., & Zentall, T. R. (2014). Suboptimal choice by pigeons may result

- from the diminishing effect of nonreinforcement. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 40(1), 12–21. <https://doi.org/10.1037/xan0000010>
- Lázaro, D. (2018). *Evaluación de un procedimiento de elección subóptima en humanos*. Facultad de Psicología. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- MacArthur, R. H., & Pianka, E. R. (1966). On optimal use of a patchy environment. *The American Naturalist*, 100(916), 603–609.
- Martínez, M. (2017). *Elección subóptima en ratas: el papel del valor incentivo y la inhibición condicionada*. Facultad de Psicología. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Martínez, M., Alba, R., Rodríguez, W., & Orduña, V. (2017). Incentive salience attribution is not the sole determinant of suboptimal choice in rats: Conditioned inhibition matters. *Behavioural Processes*, 142, 99–105. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2017.06.012>
- McDevitt, M. A., Dunn, R. M., Spetch, M. L., & Ludvig, E. A. (2016). When good news leads to bad choices. *Journal of the Experimental Analysis of Behavior*, 105(1), 23–40. <https://doi.org/10.1002/jeab.192>
- Molet, M., Miller, H. C., Laude, J. R., Kirk, C., Manning, B., & Zentall, T. R. (2012). Decision making by humans in a behavioral task: do humans, like pigeons, show suboptimal choice? *Learning & Behavior*, 40(4), 439–447. <https://doi.org/10.3758/s13420-012-0065-7>
- Pyke, G. H., Pulliam, H. R., & Charnov, E. L. (1977). Optimal foraging: a selective review of theory and tests. *The Quarterly Review of Biology*, 52(2), 137–154.
- Rivera, E. L. (2017). *Elección subóptima en palomas: análisis del efecto de algunas variables*. Facultad de Psicología. Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- Roper, K. L., & Zentall, T. R. (1999). Observing behavior in pigeons: The effect of reinforcement probability and response cost using a symmetrical choice procedure. *Learning and Motivation*, 30(3), 201–220.
- Simpson, E. H., & Kellendonk, C. (2017). Insights About Striatal Circuit Function and

- Schizophrenia From a Mouse Model of Dopamine D2 Receptor Upregulation. *Biological Psychiatry*, 81(1), 21–30. <https://doi.org/10.1016/j.biopsych.2016.07.004>
- Smith, A. P., Bailey, A. R., Chow, J. J., Beckmann, J. S., & Zentall, T. R. (2016). Suboptimal Choice in Pigeons: Stimulus Value Predicts Choice over Frequencies. *PLoS One*, 11(7), e0159336. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0159336>
- Smith, A. P., Beckmann, J. S., & Zentall, T. R. (2017). Gambling-like behavior in pigeons: “jackpot” signals promote maladaptive risky choice. *Scientific Reports*, 7(1), 6625. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-06641-x>
- Smith, A. P., Hofford, R. S., Zentall, T. R., & Beckmann, J. S. (2018). The role of “jackpot” stimuli in maladaptive decision-making: dissociable effects of D1/D2 receptor agonists and antagonists. *Psychopharmacology*, 235(5), 1427–1437. <https://doi.org/10.1007/s00213-018-4851-6>
- Staddon, J. E. R. (2010). *Adaptive behavior and learning*. Cambridge University.
- Stagner, J. P., Laude, J. R., & Zentall, T. R. (2012). Pigeons prefer discriminative stimuli independently of the overall probability of reinforcement and of the number of presentations of the conditioned reinforcer. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 38(4), 446.
- Stagner, J. P., & Zentall, T. R. (2010). Suboptimal choice behavior by pigeons. *Psychonomic Bulletin & Review*, 17(3), 412–416. <https://doi.org/10.3758/PBR.17.3.412>
- Trujano, R. E., López, P., Rojas-Leguizamon, M., & Orduña, V. (2016). Optimal behavior by rats in a choice task is associated to a persistent conditioned inhibition effect. *Behavioural Processes*, 130, 65–70. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2016.07.005>
- Trujano, R. E., & Orduña, V. (2015). Rats are optimal in a choice task in which pigeons are not. *Behavioural Processes*, 119, 22–27. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2015.07.010>
- Van Holst, R. J., Van den Brink, W., Veltman, D. J., & Goudriaan, A. E. (2010). Why gamblers fail to win: a review of cognitive and neuroimaging findings in pathological gambling.

-
- Neuroscience & Biobehavioral Reviews*, 34(1), 87–107.
<https://doi.org/10.1016/j.neubiorev.2009.07.007>
- Zentall, T. R. (2014). Suboptimal choice by pigeons: an analog of human gambling behavior. *Behavioural Processes*, 103, 156–164. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2013.11.004>
- Zentall, T. R. (2016a). Resolving the paradox of suboptimal choice. *Journal of Experimental Psychology: Animal Learning and Cognition*, 42(1), 1–14.
<https://doi.org/10.1037/xan0000085>
- Zentall, T. R. (2016b). When Humans and Other Animals Behave Irrationally. *Comparative Cognition & Behavior Reviews*, 11, 25–48. <https://doi.org/10.3819/ccbr.2016.110002>
- Zentall, T. R., Case, J. P., & Berry, J. R. (2017a). Early commitment facilitates optimal choice by pigeons. *Psychonomic Bulletin & Review*, 24(3), 957–963. <https://doi.org/10.3758/s13423-016-1173-8>
- Zentall, T. R., Case, J. P., & Berry, J. R. (2017b). Rats' acquisition of the ephemeral reward task. *Animal Cognition*, 20(3), 419–425. <https://doi.org/10.1007/s10071-016-1065-3>
- Zentall, T. R., Laude, J. R., Stagner, J. P., & Smith, A. P. (2015). Suboptimal Choice by Pigeons: Evidence that the Value of the Conditioned Reinforcer Rather than its Frequency Determines Choice. *The Psychological Record*, 65(2), 223–229.
<https://doi.org/10.1007/s40732-015-0119-2>
- Zentall, T. R., & Stagner, J. P. (2011). Maladaptive choice behaviour by pigeons: an animal analogue and possible mechanism for gambling (sub-optimal human decision-making behaviour). *Proceedings of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, 278(1709), 1203–1208.