



Efecto del sesgo en la información en una tarea de toma de decisiones perceptiva

Máster de Neurociencias

María Villalón Vázquez
2021/2022

Dr. Jose Luis Pardo Vázquez en carácter de director y Dr. Juan Casto Rivadulla Fernández en carácter de tutor académico autorizan el presente Trabajo de Fin de Master del Master de Neurociencias titulado "Efecto del sesgo en la información en una tarea de toma de decisiones perceptiva" que presenta la estudiante María Villalón Vázquez y que ha sido realizado bajo su respectiva dirección y tutorización en el curso académico 2021/2022, de tal forma que cumple los requisitos para ser juzgado por el tribunal correspondiente.

**PARDO
VAZQUEZ
JOSE LUIS -
33300340C**

Firmado digitalmente por
PARDO VAZQUEZ
JOSE LUIS -
33300340C
Fecha: 2022.09.15
22:39:44 +02'00'

**RIVADULLA
FERNANDEZ
Z JUAN
CASTO -
52451861Q**

Firmado digitalmente por
RIVADULLA
FERNANDEZ
JUAN CASTO -
52451861Q
Fecha: 2022.09.16
11:56:02 +02'00'

DocuSigned by:

María villalón

26D7EAB4CBBB47C...

Contenido

INTRODUCCIÓN:.....	2
Drift difusión model:	2
Teoría de detección de señales.....	4
Uso de roedores como modelos experimentales:.....	7
Circuitos corticales implicados en la toma de decisiones.....	7
OBJETIVOS:.....	8
METODOS Y MATERIALES:.....	8
ANÁLISIS DE DATOS:.....	13
RESULTADOS	14
Curvas psicométricas.....	14
Análisis intrasujeto:	18
Análisis intersujeto:	22
DISCUSIÓN:.....	23
CONCLUSIÓN:	25
ANEXO	27
Bibliografía:	30

INTRODUCCIÓN

La toma de decisiones consiste en un proceso de elección entre posibles alternativas en el cual confluyen diversas variables. El número de variables y el conocimiento que tengamos de ellas dependen de la elección a la que nos enfrentemos. Las variables básicas a las que solemos atender son las alternativas disponibles y las posibles consecuencias de dichas alternativas, siendo la recompensa consecuente a la elección la que suele tener mayor peso. Otras variables que influyen son: la experiencia previa, la motivación o la cantidad de información disponible. La toma de decisiones perceptivas se puede considerar como un proceso de integración e interpretación de evidencia sensorial, amuchas veces ambigua, junto con la información previamente acumulada por parte de nuestro cerebro. El estudio de la toma de decisiones, así como de la influencia y del peso de las distintas variables implicadas, nos acerca al conocimiento de los mecanismos subyacentes a procesos cognitivos: Comprender cómo manipulamos la información sensorial y qué factores influyen a la hora de llevar a cabo una respuesta conductual. Los estudios de toma de decisiones utilizan registros conductuales y electrofisiológicos junto con modelos computacionales para comprender el sustrato neural de estas tareas y su distribución en el cerebro.

Drift difusión model

El avance en el conocimiento de cómo se va acumulando la evidencia en el proceso de toma de decisiones y los elementos que lo van guiando está influido por el desarrollo de modelos teóricos como el “*Drift Difusión model*” (DDM). Un modelo que explica cómo se acumula la información que precede a la toma de decisiones.

El DDM (*Figura 1*) supone que, entre la presentación de un estímulo sensorial y la respuesta elegida en una tarea de elección forzada de dos alternativas, se produce una acumulación de evidencia a favor de una de ellas. El punto de partida es la presentación del estímulo, la acumulación de evidencia viene representada por la tasa de deriva “ v ” que alcanza un valor umbral “ a ” y la ejecución de la respuesta.

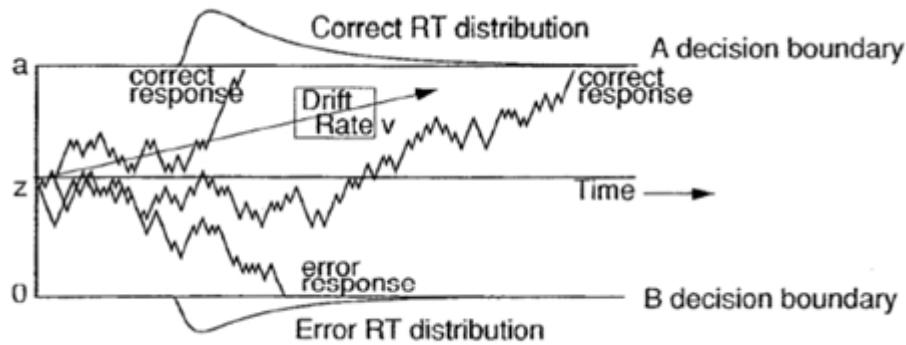


Figura1: Esquema del DDM (Ratcliff y McKoon, 2008): z : “Punto de partida”, a : “Límites de decisión” y v : “Tasa de deriva”.

El DDM completo consta de siete parámetros:

- Tres parámetros para el proceso de decisión (decisión umbral a , punto de partida z , y "tasa de deriva" v).
- Un parámetro para la no decisión (tiempo de no decisión T_{er}): el *tiempo de no decisión* T_{er} ('er' por el inglés 'encoding' y 'response') representa el tiempo tanto previo al comienzo del proceso como posterior al mismo. (Ratcliff, 1978; Ratcliff y Tuerlinckx, 2002; Ratcliff y McKoon, 2008).
- Tres parámetros para el ensayo a través de la variabilidad (variabilidad en el punto de partida s_z , variabilidad en la no decisión tiempo s_t y variabilidad en la calidad del estímulo). (Ratcliff, 1978; Ratcliff y Tuerlinckx, 2002; Ratcliff y McKoon, 2008).

La toma de decisiones en tareas perceptivas supone la conversión de señales sensoriales ruidosas en un acto motor discreto (Hanks y Summerfield, 2017). La transformación de la información sensorial y la transformación de la decisión en una respuesta motora se consideran, en el modelo, retardos temporales. El proceso de interés lo constituye la evolución temporal de *una variable cognitiva inobservable* que refleja la cercanía del proceso cognitivo con una de dos posibles decisiones sobre el estímulo.

La variable cognitiva postulada fue, inicialmente, llamada por Ratcliff 'parentesco' *relatedness* (Ratcliff, 1978). Esta variable refleja la cantidad de coincidencia o relación entre el estímulo percibido y el 'umbral' (criterio interno del sujeto que toma la decisión). Durante el proceso de toma de decisiones se acumula evidencia, junto con ruido. En el modelo DDM, se asume que el ruido proviene de los procesos sensoriales y/o de la

actividad neural general. La evidencia se acumularía hasta que se alcanza uno de los dos criterios, correspondientes a las dos posibilidades de decisión. Los criterios o límites representan la cantidad de evidencia necesaria para tomar una decisión y reflejan los sesgos de respuesta del sujeto (Ratcliff et al., 2015; Shinn et al., 2020).

El modelo proporciona dos variables:

- La velocidad, que suele medirse como tiempo de reacción (TR) tanto el de cada simulación individual como el de la distribución del conjunto.
- La Precisión, que es la proporción de respuesta correctas respecto al total de simulaciones.

Este modelo supone un encuentro entre la codificación de estímulos y los procesos de representación y decisión.

En el caso de una tarea cognitiva como la que se presenta en este trabajo, los datos obtenidos sobre precisión y TR, pueden usarse mediante ajuste estadístico para obtener los parámetros del modelo que mejor pueda hacer predicciones sobre las variables conductuales (precisión y tiempos de reacción), y además, la variable decisional (postulada, no observable) que puede contrastarse ahora con datos neurobiológicos recolectados durante la tarea, como potenciales electroencefalográficos o tasas de descarga neuronales (Pérez-Líbano y Pérez Parra 2022).

Teoría de detección de señales

La teoría de detección de señales (TDS) se empieza a aplicar en psicología con Tanner y Swets (1954) en estudios sobre visión y, posteriormente, se aplica en estudios de audición. Posteriormente una revisión de estos estudios publicando “*Signal Detection Theory and Psychophysics*. New York: Wiley. (ISBN 0-471-32420-5)” de Green, D.M., Swets J.A. (1966). Se aplica para el análisis en toma de decisiones, al ser capaz de diferenciar entre la distribución de la señal (estímulo) y la distribución del ruido, para lo que fija un criterio de respuesta. Los elementos que componen la teoría son la señal: Estímulo perceptivo ante el que hay que responder y el ruido: interferencia de fondo o estímulo nulo. En un experimento de elección forzada, ante dos posibles respuestas hay dos tipos de estímulos y dos decisiones posibles. Los resultados de las combinaciones serían: aciertos, rechazos correctos, las omisiones y las falsas Alarmas.

PRESENTACIONES		
RESPUESTAS	SEÑAL	RUIDO
SEÑAL	ACIERTO	FALSA ALARMA
RUIDO	OMISIONES	RECHAZO CORRECTO

Los componentes principales son el proceso sensorial, que afecta a la sensibilidad, y el cognitivo, que afecta a la decisión de la respuesta. Estos componentes se denominan **sensibilidad d'** y **criterio c** . La sensibilidad es el parámetro sensorial que diferencia entre medias de distribución de señal y media (en puntuaciones típicas) modulada por la ratio señal/ruido, es decir, por las intensidades de las señales. Cuanto más separadas están las distribuciones, el sistema de detección es más capaz de discriminar. Un valor de d' igual a cero indicaría una falta de discriminación mientras que valores elevados indicarían que la detección ha sido buena. En raras ocasiones se pueden presentar valores negativos, que responden generalmente a que los observadores contestan lo contrario de lo que tendrían que contestar.

El criterio es el punto de corte para elegir una de las posibles respuestas. Cuando la evidencia aportada por el mecanismo sensorial está por encima de la línea de criterio se toma una opción y si está por debajo la otra opción. El criterio óptimo se establecería en el punto de corte de ambas distribuciones y varía dependiendo de:

- Experiencia pasada.
- Estimación de la probabilidad de presentación ratio señales.
- Estimación de las consecuencias.

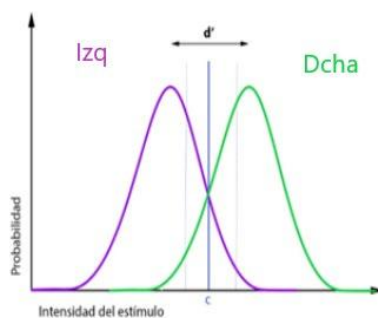


Figura 2: Elementos de la TDS: Muestra las distribuciones (gaussianas) de las dos probabilidades de respuesta (izquierda y derecha). La distancia entre las medias de dichas distribuciones corresponde al índice d' . El criterio c (fijado por el observador) se puede desplazar variando la cantidad de omisiones y falsas alarmas.

El modelo considera:

- Las decisiones (juicios perceptivos) siempre se toman en presencia de ruido (interno, neuronal y externo, físico).
- Las decisiones se toman con respecto a un criterio (sesgo de respuesta).
- El criterio es variable y refleja la probabilidad de estímulo y las consecuencias de la decisión.
- La precisión (tasa de aciertos) es una medida sesgada, depende del criterio.
- Existe una compensación entre la tasa de aciertos y la tasa de falsas alarmas.
- La sensibilidad / detectabilidad - la capacidad de distinguir un estímulo del ruido es independiente del criterio.
- Para diferenciar entre distribución de la señal y la distribución del ruido, se fija el criterio de respuesta

Las principales fuentes de ruido son las señales irrelevantes provenientes de fuentes externas y las interferencias del sistema cognitivo por otros procesos (ruido interno del sistema).

Para cualquier intensidad presentada, primero el sistema sensorial genera una señal que corresponde a la cantidad de evidencia acumulada por el sensor y también ruido interno originado por el SNC y ruido externo. La presencia del ruido (ambigüedad) hace que la señal se presente no como valor puntual sino como una distribución con una media y una varianza y, mediante la regla de decisión, se trata de separar la distribución de la señal de la del ruido con la dificultad del solapamiento entre ellas (el establecimiento del criterio de corte es el proceso cognitivo)

Para el cálculo del índice de sensibilidad y criterio se utilizan las probabilidades de los aciertos y de las falsas alarmas aplicando las siguientes ecuaciones:

$$d' = z(pA) - z(pFA)$$

$$c = -z(pA) + z(pFA)/2$$

Uso de roedores como modelos experimentales

Las estrategias a la hora de seleccionar una respuesta dependen de cómo se combine la información sensorial, la experiencia previa y las recompensas obtenidas. Estas estrategias tienen que ser flexibles de forma que puedan adaptarse al contexto, a los cambios en las prioridades de los objetivos, a la urgencia de la acción o al cambio en las consecuencias, así como ser capaces de funcionar, aunque no se tenga toda la información necesaria o esta sea ambigua. Estas estrategias parecen estar ampliamente conservadas entre los mamíferos (Nguyen y Reinagel, 2022).

Tradicionalmente, han sido los primates no humanos los modelos animales utilizados en los estudios de toma de decisiones. Las ratas, como los humanos, pueden acumular gradualmente evidencia para la toma de decisiones (Brunton et al., 2013). Actualmente, el uso de roedores se encuentra más extendido al proporcionar numerosas ventajas, como la facilidad para la realización de tareas, un menor coste y mayor facilidad para realizar registros electroencefalográficos y manipulación de la actividad neural (Grosenick et al., 2015). Por tanto, el uso de roedores puede ser útil para comprender las decisiones perceptivas en primates y humanos y contribuir al desarrollo de métodos matemáticos que describan los factores que determinan la toma de decisiones a lo largo del tiempo, como son la acumulación de evidencia, la ponderación de la información de diferentes sentidos y el uso de decisiones anteriores al evaluar la evidencia (Carandini y Churchland, 2013).

Circuitos corticales implicados en la toma de decisiones

El proceso de toma de decisiones está condicionado por la acumulación de evidencia a favor de una u otra opción. Estudios llevados a cabo por Erlich et al., 2015 y Hank y Brody., 2011 demuestran la implicación de dos regiones cerebrales en ratas: corteza parietal posterior (*PPC*) y campos de orientación frontal (*FOF*).

En el caso de Hank y Brody, diseñaron una tarea de decisión forzada de dos alternativas, en el que la rata solo podía realizar el acto motor de elección una vez transcurrido un tiempo, concluyendo que el FOF juega un papel en la orientación guiada por la memoria. El grupo de Erlich, registró actividades neurales tanto en FOF como en PPC, y encontró que las neuronas de PPC codificaron la variable de acumulación de forma graduada, mientras que las células de FOF la codificaron de una manera más categórica. Además, las inactivaciones en FOF interrumpieron el comportamiento de la rata, pero solo si la inactivación tuvo lugar al final del período de estímulo, sugiriendo que FOF puede ser

necesario para el paso final en el proceso de decisión: la conversión de la señal de acumulación graduada en la elección categórica.

OBJETIVOS

Comprobar la influencia en una tarea de toma de decisiones perceptiva, al introducir dos tipos de sesgo en la información disponible.

- Comprobar las diferencias tanto en la sensibilidad como en el criterio (TDS) en la respuesta, al aumentar o bien la probabilidad de ocurrencia de un estímulo o bien la cantidad de recompensa.
- Comprobar si existen diferencias significativas entre sexos a la hora de sesgar la respuesta.
- Observar el rendimiento de los sujetos para las distintas diferencias de intensidad del sonido en condiciones de sesgo y no sesgo

METODOS Y MATERIALES

Para el experimento se utilizaron 4 ratas albinas, 2 hembras (llamadas 3F y 4F) y dos machos (3M y 4M). La edad al inicio del entrenamiento era de 2 meses y al empezar la manipulación de sesgo de 5 meses. Procedían del animalario del CEBEGA de Santiago. Las condiciones de estabulación fueron: ciclo de luz de 8 am a 8 pm y de oscuridad de 8 pm a 8 am, comida ad libitum siempre y agua los fines de semana. Durante la semana estaban privadas del acceso al agua, ya que se utilizó como recompensa al realizar correctamente la tarea. Cada semana se procedía a pesar a las ratas para comprobar que estuvieran bien alimentadas. Además, al finalizar cada sesión se comprobaba el agua que habían ingerido para asegurarse de que se mantenían hidratadas. El procedimiento cuenta con la aprobación del comité de bioética con el código de proyecto 15012/2022/01.

Sistema de registro: Se utilizó el programa OCTAVE corriendo en una Raspberry Pi4 para ejecutar, registrar y analizar los datos obtenidos en la tarea. Junto con este programa se utilizó una caja de comportamiento de estímulos perceptivos que consta de 3 *nosepokes*, dos centrales, uno a la derecha y uno a la izquierda. Estos puertos van acompañados de una luz en las tres posiciones y en el caso del derecho e izquierdo de un altavoz y en el central inferior de un dispositivo de dispensación de recompensa (agua).

Tarea: Las ratas fueron entrenadas en la tarea antes de introducir las manipulaciones experimentales dirigidas a provocar sesgos de respuesta. La tarea comienza situando a la

rata en la caja y encendiéndose la luz del centro que indica que puede colocarse en el nosepoke central (para lo cual tiene 10seg como máximo). Tras esta fijación se produce un sonido por ambos altavoces durante 5seg. (el ancho de banda del sonido se establece dentro de un rango de entre 5000Hz y 15000Hz), modificándose las diferencias de nivel interaural (*del inglés interaural level differences ILD*) entre izquierda y derecha. Los roedores utilizan las ILDs causadas por la sombra acústica de la cabeza como la señal binaural principal para localizar el sonido en el plano horizontal (Pardo Vázquez et al. 2019). Por lo tanto, la discriminación ILD activa un circuito para la comparación de intensidades de sonido. Estas ILDs se manipularon de forma aleatoria en cantidades de 20, 10, 5, 2,5 y 1,25 dB mayor a la izquierda o a la derecha. Cuando se ha presentado el sonido, se encienden las dos luces laterales lo que indica a la rata que ya puede responder (tiempo máximo para emitir la respuesta es de 25 segundos) situándose en el *nosepoke* del lado que considera que ha presentado el sonido más intenso (tiempo de fijación mínimo de 0,015 s). En caso de que acierte, se enciende otra la luz del centro indicando que se puede colocar en el puerto central inferior para recibir la recompensa (se le suministra unas gotas de agua durante 0,09 s). Tanto la recompensa, como la duración del sonido y los tiempos de fijación y de respuesta se fueron cambiando para conseguir que las ratas aprendieran la tarea. Cada rata estaba aproximadamente una hora realizando la tarea, haciendo una media de entre 500/600 ensayos. Acierto: contesta en el lado que presentó el sonido más intenso; Fallo: Contesta en el lado contrario del que presentó el sonido más intenso. Aborto cuando incumple los tiempos de inicio de tarea, fijación, respuesta o no va a por la recompensa.

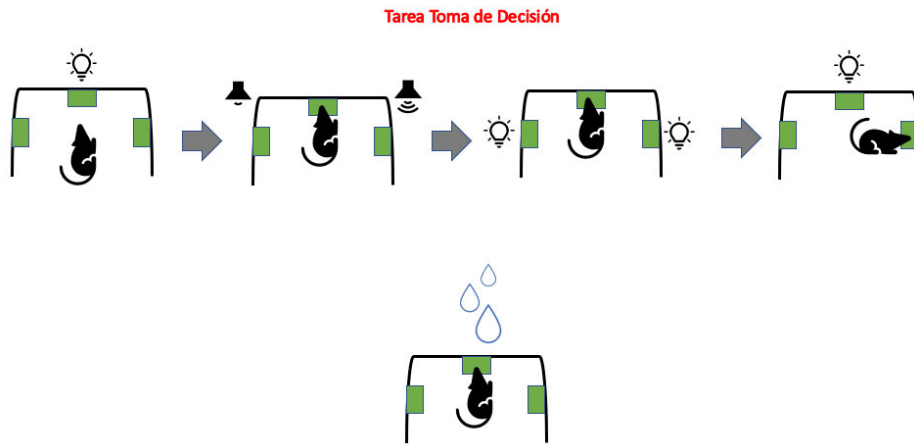


Figura 3: Esquema de la realización de la tarea. Una vez que se enciende la luz central y la rata se posiciona en el nosepoke central, se emite un sonido por ambos altavoces siendo uno más intenso que el otro. Una vez que termina el sonido y se encienden las luces laterales, se produce la respuesta colocándose en el nosepoke del lado de más intensidad. En caso de que sea correcta la respuesta se suministra la recompensa (agua en nuestro experimento) en el nosepoke central.

Una vez aprendida la tarea, introdujimos dos manipulaciones para dar lugar a dos condiciones experimentales. Una de las manipulaciones fue la cantidad de recompensa que se daba al contestar en uno de los lados (siendo el doble en uno de los lados que en el otro; Para ello el tiempo de dispensación de agua era el doble), por lo que la denominaremos $2RW$. La otra condición fue la probabilidad de que el sonido más intenso viniera de un lado (haciendo que la probabilidad de aparición por uno de los lados fuera el doble que por el otro), por lo que la denominaremos $2P$.

Los ensayos se registraron durante dos semanas. La primera semana, se realizó la condición de $2P$ por un total de 4 días de ensayos alternando día con sesgo y día sin sesgo. Todas las ratas pasaron por ambas condiciones de sesgo.

	Sesión	Inicio	Final	Agua	Sesgo
Rata 3 M	1	09:18	10:20	14 mL	dcha
Rata 4 M	1	10:24	11:23	8 mL	izq

Rata 3 F	1	11:25	12:25	12 mL	izq
Rata 4 F	1	12:28	13:25	5 mL	dcha
	Sesión	Inicio	Final	Agua	Sesgo
Rata 3 M	2	09:05	10:05	7 mL	-
Rata 4 M	2	10:07	11:08	4 mL	-
Rata 3 F	2	11:13	12:13	4 mL	-
Rata 4 F	2	12:15	13:18	4 mL	-
	Sesión	Inicio	Final	Agua	Sesgo
Rata 3 M	3	09:15	10:15	12 mL	izq
Rata 4 M	3	10:18	11:18	10 mL	dcha
Rata 3 F	3	11:25	12:25	9 mL	dcha
Rata 4 F	3	12:20	13:30	6 mL	izq
	Sesión	Inicio	Final	Agua	Sesgo
Rata 3 M	4	09:08	10:08	5 mL	-
Rata 4 M	4	10:10	11:10	4 mL	-
Rata 3 F	4	11:18	12:18	3 mL	-
Rata 4 F	4	12:20	13:20	5 mL	-

La segunda semana se realizó la condición de 2RW por un total de 4 días de ensayos alternando día con sesgo y día sin sesgo. Todas las ratas pasaron por ambas condiciones de sesgo.

	Sesión	Inicio	Final	Agua	Sesgo
Rata 3 M	1	09:43	10:43	9 mL	dcha
Rata 4 M	1	10:46	11:46	7 mL	izq
Rata 3 F	1	11:55	12:55	7 mL	izq
Rata 4 F	1	12:59	14:02	3 mL	dcha
	Sesión	Inicio	Final	Agua	Sesgo
Rata 3 M	2	12:33	13:35	4 mL	-
Rata 4 M	2	13:38	14:38	3 mL	-
Rata 3 F	2	14:43	15:43	4 mL	-
Rata 4 F	2	15:45	16:45	3 mL	-
	Sesión	Inicio	Final	Agua	Sesgo
Rata 3 M	3	09:03	10:03	7 mL	izq
Rata 4 M	3	10:07	11:08	5 mL	dcha
Rata 3 F	3	11:13	12:13	4 mL	dcha
Rata 4 F	3	12:17	13:17	3 mL	izq
	Sesión	Inicio	Final	Agua	Sesgo
Rata 3 M	4	09:04	10:04	4 mL	-
Rata 4 M	4	10:06	11:00	4 mL	-
Rata 3 F	4	11:35	12:35	4 mL	-
Rata 4 F	4	12:37	13:37	2 mL	-

Tabla 1: *Registros diarios de condiciones experimentales, inicio y recompensa suministrada.*

ANÁLISIS DE DATOS

El análisis de datos se realizó mediante OCTAVE para registro y cálculo de los índices c y d' en cada ensayo y GRAPHPAD PRISM 8 para la obtención de las funciones psicométricas, y análisis de varianza (ANOVA) para comprobar si existen diferencias estadísticamente significativas entre las medias de los índices de sensibilidad d' y criterio c . Se agruparon los resultados de cada día en bloques de 80 ensayos para realizar el análisis. Se realizó un ANOVA intrasujeto de una vía, analizando la varianza en las respuestas cuando se realiza la tarea con sesgo (izquierda o derecha) y sin sesgo. En el caso de intersujeto se realiza un ANOVA 3x2 para comprobar si había diferencias significativas en interacción entre respuesta y sexo en los índices anteriores. se utilizó un IC del 95%. Para corregir los grados de libertad de F se utilizó la corrección de Greenhouse-Geisser.

Precisión de respuesta

Los resultados obtenidos con la tarea de detección se analizan mediante una matriz de resultados 2 X 2 que permite relacionar la situación estimular (derecha e izquierda) con la respuesta del sujeto (derecha, izquierda). En la matriz se obtienen cuatro resultados experimentales en relación con la variable dependiente, que nos informan de la precisión en la respuesta: Aciertos, cuando se presenta el sonido más intenso a la derecha y el sujeto contesta 'derecha'. Rechazos correctos, cuando se presenta izquierda y el sujeto contesta 'izquierda'. Falsas Alarmas, cuando se presenta el más intenso a la izquierda y el sujeto contesta "derecha". Fallos, cuando se presenta derecha y el sujeto contesta "izquierda".

Estímulo

		<i>Estímulo</i>	
		Derecha	Izquierda
<i>Respuesta</i>	Derecha	Acierto	Falsa alarma
	Izquierda	Fallo	Rechazo correcto

Con esta matriz podemos calcular la tasa de aciertos, fallos, falsas alarmas y rechazos correctos. $pA = A/(A+F)$ y $pFA = FA/(FA +RC)$.

Índice de sensibilidad: Distribución correspondiente al estímulo:

$$d' = z(pA) - z(pFA)$$

Índice de criterio:

$$c = -z(pA) + z(pFA)$$

En la tarea presentada, hemos establecido que responder a la derecha es la respuesta correcta. Se considera que $c < 0$ es la tendencia a responder a la derecha lo que supondría asegurar más cantidad de aciertos a costa de cometer mayor cantidad de falsas alarmas. Mientras que $c > 0$ supone una tendencia a responder a la izquierda evitando el fallo a consecuencia de cometer más rechazos correctos.

Curva psicométrica: Consiste en una representación gráfica de la proporción de estímulos detectados frente a la intensidad del estímulo. En este caso, se compara la probabilidad de responder derecha frente a los ILDs presentados para comprobar el rendimiento de los sujetos para cada ILD en relación con la proporción de respuestas a la derecha.

RESULTADOS

Curvas psicométricas

Para el análisis del rendimiento en la tarea, utilizamos los datos obtenidos de dos de las ratas 3M y 3F ya que tanto la 4M como la 4F no llegaron a superar el criterio establecido (criterio cualitativo que suponía la realización de la tarea durante una semana cuya precisión diera lugar a una curva psicométrica) para dar por aprendida la tarea durante el entrenamiento, condición necesaria para introducir la manipulación del sesgo. Obtenemos las probabilidades de responder a la derecha $P(A)$ en la condición 2P:

ILD	RATA 3M				RATA 3F			
	Derecha	No sesgo	Izquierda	No sesgo	Derecha	No sesgo	Izquierda	No sesgo
-20	0,318	0,142	0,042	0,070	0,219	0,094	0,037	0,037
-10	0,534	0,246	0,130	0,147	0,461	0,145	0,012	0,125
-5	0,609	0,319	0,142	0,271	0,589	0,226	0,025	0,24
-2,5	0,697	0,463	0,168	0,361	0,65	0,203	0,139	0,309
-1,25	0,75	0,363	0,225	0,328	0,829	0,309	0,04	0,362
1,25	0,685	0,579	0,319	0,452	0,728	0,333	0,179	0,333
2,5	0,890	0,671	0,416	0,439	0,784	0,314	0,184	0,392
5	0,906	0,810	0,521	0,611	0,897	0,326	0,219	0,517
10	0,922	0,863	0,659	0,853	0,884	0,442	0,3	0,66
20	0,933	0,931	0,702	0,916	0,949	0,48	0,317	0,764

Tabla 2: Probabilidad de responder a la derecha en el experimento de aumento de probabilidad de presentación del sonido más intenso en función de los ILDs presentados. El signo (–) se refiere a que el sonido de mayor intensidad se presenta por la izquierda. En esta tabla se presenta la probabilidad de responder en el lado derecho.

En ambos sujetos, la probabilidad de responder a la derecha aumenta cuando aumenta la probabilidad de que el sonido más intenso se presente por este lado en comparación con los ensayos sin sesgo y con sesgo hacia la izquierda. Este aumento de probabilidad se mantiene, aunque el sonido más intenso aparezca por el lado izquierdo. A modo de ejemplo, en el caso del aumento de probabilidad de ocurrencia, para ILDs de 2,5 y 1,5 dB mayor por la izquierda, observamos una probabilidad de responder derecha de 0,69 y 0,75 respectivamente mientras que sin sesgo encontramos probabilidades de 0,4 y 0,3. En el otro extremo, cuando intentamos sesgar a la izquierda, la probabilidad de respuesta hacia la derecha para estos ILDs cae a 0,2 y 0,3 en caso del macho y 0,1 y 0,04 en caso de la hembra. Lo contrario ocurre en el caso en el que aumentamos la probabilidad de que el sonido de mayor intensidad se produzca por la izquierda. En este caso disminuye la probabilidad de responder a la derecha incluso cuando el sonido más intenso se produce por este lado. Estos sesgos de respuesta se hacen aún más marcados en los casos en el que las variaciones de sonidos entre ambos lados son menores y por tanto la información perceptiva más ambigua. Por tanto, en caso de que la rata tenga que completar la información que recibe, aumenta la probabilidad de que sea hacia la opción que en ensayos anteriores ha sido más probable.

Para la condición 2RW:

ILD	RATA 3M				RATA 3F			
	Derecha	No sesgo	Izquierda	No sesgo	Derecha	No sesgo	Izquierda	No sesgo
-20	0,131	0,081	0,026	0,041	0,260	0,111	0,320	0,122
-10	0,287	0,152	0,055	0,054	0,400	0,200	0,093	0,183
-5	0,381	0,229	0,098	0,180	0,580	0,222	0,116	0,361
-2,5	0,461	0,256	0,112	0,138	0,800	0,264	0,206	0,306
-1,25	0,565	0,445	0,098	0,164	0,800	0,307	0,203	0,530
1,25	0,730	0,424	0,270	0,356	0,872	0,500	0,150	0,468
2,5	0,693	0,493	0,347	0,318	0,895	0,530	0,419	0,925
5	0,776	0,628	0,320	0,528	0,916	0,470	0,365	0,775
10	0,876	0,805	0,685	0,718	0,958	0,686	0,557	0,787
20	0,92	0,810	0,675	0,819	0,977	0,788	0,666	0,913

Tabla 3: Probabilidad de responder a la derecha en el experimento de doble recompensa en función de los ILDs presentados. El signo (–) se refiere a que el sonido de mayor intensidad se presenta por la izquierda. En esta tabla se presenta la probabilidad de responder en el lado derecho

En el caso de sesgar la respuesta aumentando la cantidad de recompensa que se le ofrece al responder hacia uno de los lados, también se observa cómo aumenta la probabilidad de respuesta hacia el lado que intenta sesgarse en comparación con los ensayos sin sesgo, lo que se hace más visible en las diferencias de sonido de mayor ambigüedad.

La representación gráfica mediante curvas psicométricas (figura 4) nos muestra como la curva se desplaza, tanto en el caso del sesgo hacia la derecha como hacia la izquierda, en todos los sujetos, lo que nos confirmaría en un primer momento del sesgo de respuesta que comentábamos. Otro de los efectos que observamos que este desplazamiento afecta más a las respuestas que se producen cuando las diferencias de sonido entre ambos lados son menores (ILDs: 2,5 o 1,5), mientras que en los casos más extremos las puntuaciones se encuentran más cercanas a las respuestas sin sesgo. Para ambas condiciones experimentales y en todos los sujetos, cuando se intenta sesgar a la derecha, la probabilidad de escoger la derecha como respuesta se acerca más a 1 en todas las presentaciones aumentando más en el caso de los ILDs menores. Al contrario ocurre cuando intentamos sesgar a la izquierda en donde la probabilidad de escoger derecha disminuye en todas presentaciones.

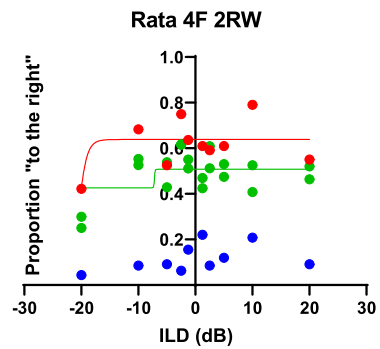
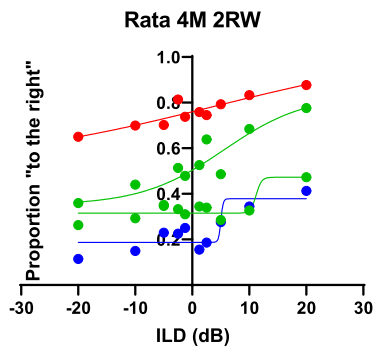
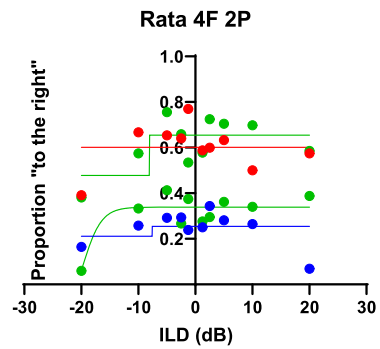
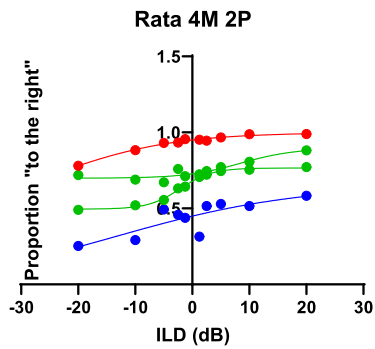
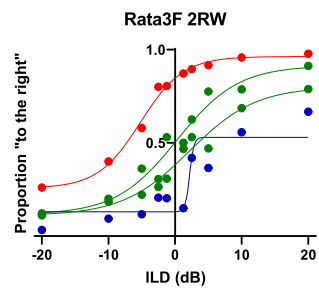
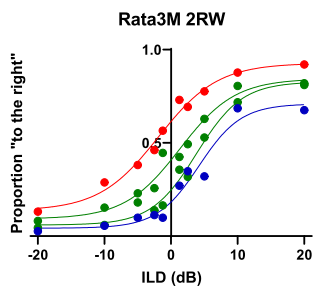
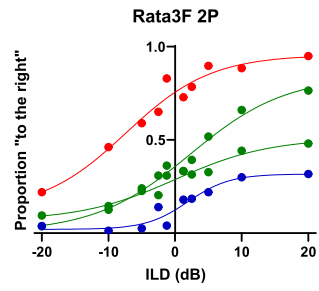
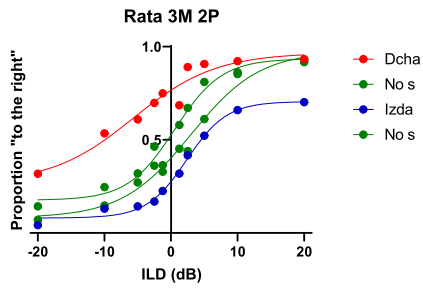


Figura 4: Proporción de elegir derecha como respuesta en función de los ILDs presentados. Las curvas están ajustadas al promedio de respuestas para los ILDs. Como se observa existe una diferencia notable entre las curvas correspondientes a las ratas 3M y 3F que aprendieron la tarea y por tanto muestran mayor probabilidad de responder “derecha” cuando el estímulo se presenta por ese lado y menor probabilidad cuando se presenta por la izquierda y las 4F y 4M en las cuales las respuestas parecen más “al azar”.

Análisis intrasujeto: ANOVA de una vía

Se realizó para cada rata un ANOVA de una vía (Tabla 1 anexo) para comprobar cambios en la sensibilidad y en el criterio a la hora de responder comparando los tres tipos de sesgo (derecha, izquierda y no sesgo) en las dos condiciones experimentales (doble probabilidad y doble recompensa). Para hacer el ANOVA se agruparon los ensayos en bloques de 80. Se observó que las medias de respuesta varían en el caso de la rata 3F para d' ($F=4,6$ $p<0,05$) y c ($F= 19,5$ $p<0,05$) en el caso de 2RW. En 4F para c ($F= 115,06$ $p<0,05$). Para la 3M hay variación significativa en c en ambas condiciones experimentales ($F=32,98$ y $F=26,62$ $p<0,05$) y por último en 4M en c en la condición 2RW ($F=13,62$ $p<0,05$). Con el ANOVA comprobamos las diferencias significativas, aplicamos el test de Tukey para ver la dirección de esas diferencias:

	Tukey test	Media 1	Media 2	Dif medias	95,00% CI diff,	Valor P ajustado
3M C 2P	Derecha vs. N sesgo	-0,2191	-0,02172	-0,1974	-0,3021 to -0,09268	0,0002
	Derecha vs. Izqda	-0,2191	0,1763	-0,3955	-0,5152 to -0,2757	<0,0001
	No sesgo vs. Izqda	-0,02172	0,1763	-0,1981	-0,2987 to -0,09744	<0,0001
3M 2RW	Izda vs. N sesgo	0,1464	-0,2052	0,3516	0,1941 to 0,5091	<0,0001
	Derecha vs. Izqda	0,1464	-0,3739	0,5203	0,3401 to 0,7004	<0,0001
	No sesgo vs. Decha	-0,2052	-0,3739	0,1687	0,01730 to 0,3200	0,0263
4M C RW	Izda vs. N sesgo	0,142	0,01175	0,1303	0,01815 to 0,2423	0,0202
	Izda vs. Izqda	0,142	-0,1278	0,2698	0,1417 to 0,3978	<0,0001
	No sesgo vs. Dcha	0,01175	-0,1278	0,1395	0,03239 to 0,2466	0,0087
4F C 2P	Derecha vs. N sesgo	-0,3931	-0,01045	-0,3826	-0,5123 to -0,2529	<0,0001
	Derecha vs. Izqda	-0,3931	0,4675	-0,8606	-1,006 to -0,7150	<0,0001
	No sesgo vs. Izqda	-0,01045	0,4675	-0,478	-0,6000 to -0,3559	<0,0001
3FC 2RW	Izda vs. N sesgo	1,102	-0,048	1,15	0,5815 to 1,718	0,0001

	Derecha vs. Izqda	1,102	-0,4001	1,502	0,8696 to 2,135	<0,0001
	No sesgo vs. Dcha	-0,048	-0,4001	0,3521	-0,1886 to 0,8929	0,2521
3f d' 2RW	Izda vs. N sesgo	2,597	1,125	1,472	0,2330 to 2,711	0,018
	Decha vs. Izqda	2,597	1,377	1,22	-0,1589 to 2,598	0,0894
	No sesgo vs. Dcha	1,125	1,377	-0,2523	-1,431 to 0,9262	0,8537

Tabla 4: Test Tukey. Estadísticos significativos en las comparaciones entre sesgos.

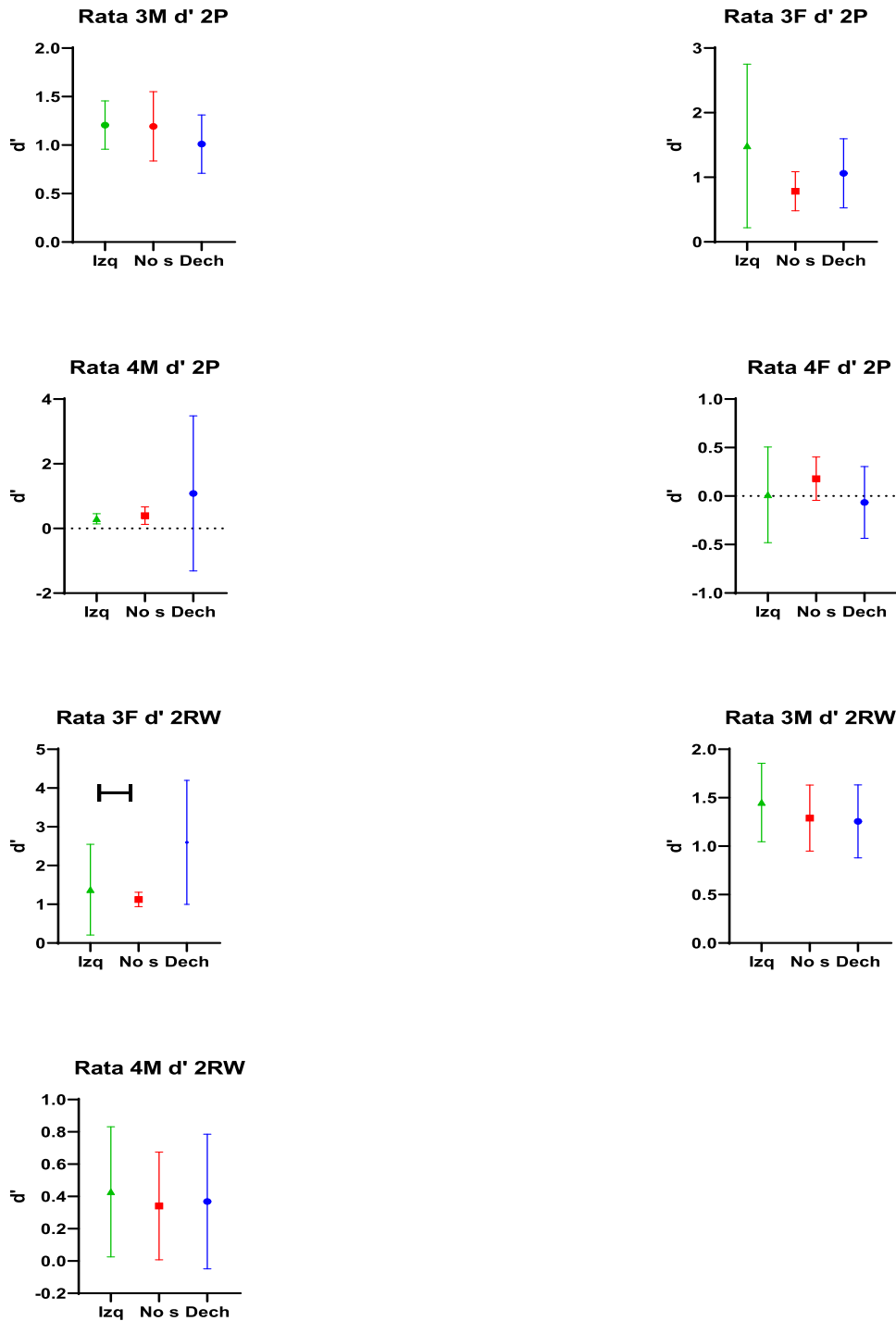


Figura 5: Comparación de medias y desviación estándar para índice d' . Los puntos indican las medias obtenidas en d' para los ensayos en las distintas condiciones de sesgo y las barras la desviación estándar. Con los símbolos H indica entre qué condiciones se ha encontrado diferencias significativas en el test de Tukey.

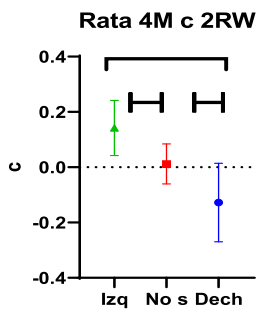
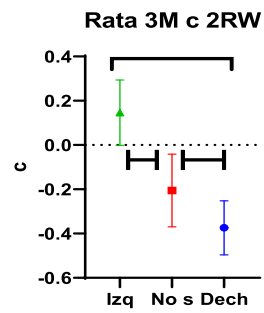
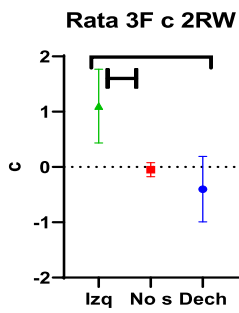
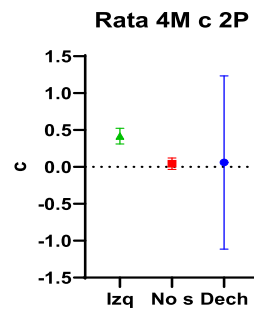
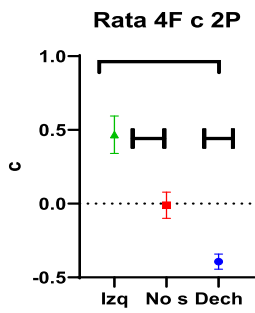
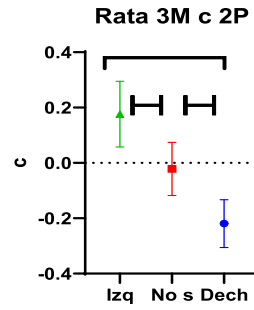
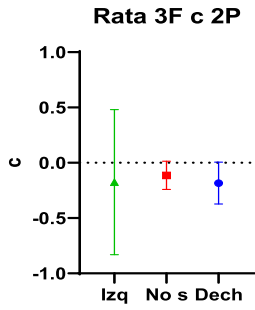


Figura 6: Comparación de medias y desviación estándar para índice c. Los puntos indican las medias obtenidas en c para los ensayos en las distintas condiciones de sesgo y las barras la desviación estándar. Con los símbolos \mathbf{H} indica entre qué condiciones se ha encontrado diferencias significativas en el test de Tukey.

Análisis intersujeto: ANOVA 3x2.

Se realiza un ANOVA 3x2. Las 3 condiciones de sesgo (derecho, izquierdo y no sesgo) y 2 de sexo (hembra y macho) para comprobar la interacción de estas condiciones para c y para d' (Tabla 2 anexo). Se observan diferencias significativas en la interacción sesgo/sexo en la condición experimental 2RW tanto para d'(F=12,17 p<0,05) y como para c (F= 21,46 p<0,05). En la condición 2P para c hay diferencia significativa en función del sesgo (F=7,14 p<0,05). Con el ANOVA comprobamos las diferencias significativas, aplicamos el test de Tukey para ver la dirección de esas diferencias:

	Tukey test	Dif medias	95,00 CI Dif	V. P ajustado
d' 2RW	Hembra:Dch vs. Hembra:No sesg	2,007	1,005 to 3,008	<0,0001
	Hembra:Dcha vs. Hembra Izda	1,751	0,6579 to 2,843	0,0001
	Hembra: Dcha vs: Macho Dcha*	1,755	0,6988 to 2,810	<0,0001
	Hembra Dcha vs. Macho No sesg	1,753	0,7857 to 2,721	<0,0001
	Hembra Dcha vs. Macho Izda	1,627	0,5890 to 2,665	0,0002
c 2RW	Hembra:Dch vs. Hembra:No sesg	1,129	0,7855 to 1,473	<0,0001
	Hembra:Dcha vs. Hembra:Izda	1,326	0,9512 to 1,701	<0,0001
	Hembra: Dcha vs: Macho Dcha*	0,9577	0,5955 to 1,320	<0,0001
	Hembra Dcha vs. Macho No sesg	1,205	0,8731 to 1,537	<0,0001
	Hembra Dcha vs. Macho Izda	1,36	1,004 to 1,716	<0,0001
	Hembra Izda vs. Macho Dcha	-0,3685	-0,6589 to -0,07808	0,0048
	Macho Dcha vs. Macho sesg	0,2475	0,01502 to 0,4799	0,0299
	Macho Dcha vs. Macho Izda	0,4024	0,1368 to 0,6680	0,0004
c 2P	Hembra Dcha vs. Hembra Izda	-0,3923	-0,7530 to -0,03159	0,0296
	Macho Dcha vs. Macho Izda	-0,3617	-0,6803 to -0,04310	0,0219

Tabla 5: Estadísticos significativos en el test de Tukey en las comparaciones entre sexo/sesgos. Se señala con * los cambios significativos para la misma dirección de sesgo entre los dos sexos. La diferencia más significativa se observa en el sesgo hacia la derecha.

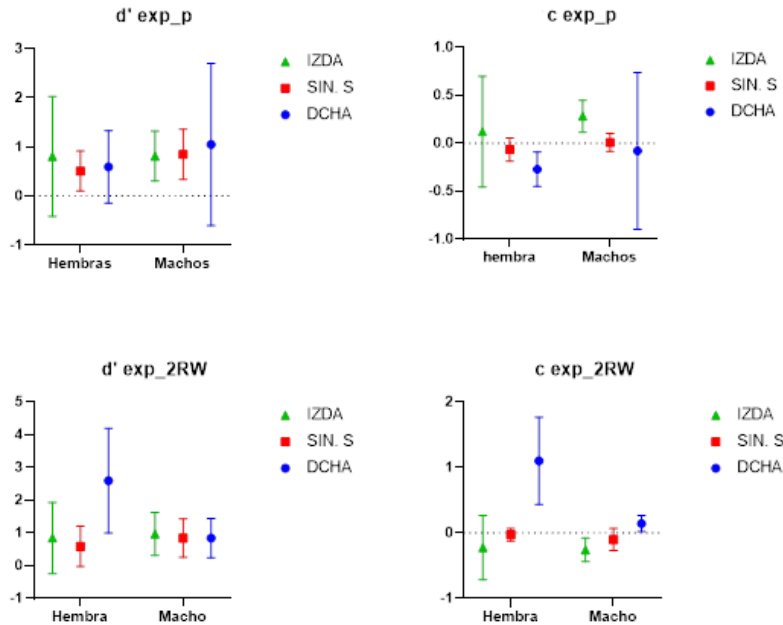


Figura 7: Comparación de las medias y desviación estándar de los índices d' y c para las dos condiciones experimentales y dirección del sesgo agrupados por sexo. Se observa el aumento de sensibilidad en el caso del sesgo a la derecha para la condición de 2RW en hembras.

DISCUSIÓN

En función de las características expuestas al principio de la TDS ante la toma de decisiones, la respuesta elegida va a depender de la intensidad del estímulo, la sensibilidad del sistema sensorial (en este caso el sistema perceptivo del sujeto) y el criterio (subjetivo) que dicho sujeto adopte para tomar la decisión. Por lo tanto, el criterio debe ser el elemento de esta toma de decisiones más susceptible de modificación en las condiciones de sesgo. El criterio es variable y refleja el juicio del sujeto sobre la experiencia pasada, la probabilidad de ocurrencia del estímulo y las consecuencias de la decisión. El rendimiento (en tasa de aciertos) depende de cómo se establezca este criterio y el resultado que el sujeto esté dispuesto a asumir: Más cantidad de aciertos, que conlleva más cantidad de falsas alarmas o asumir una mayor cantidad de rechazos correctos lo que supone más cantidad de errores. La subjetividad en la decisión del criterio y los factores que en él influyen, hacen que el criterio sea fácilmente sesgado al variar las condiciones en las que se lleva a cabo la toma de decisiones. En nuestro caso, hemos manipulado la probabilidad de ocurrencia y la cantidad de recompensa que recibían, viendo el efecto de estos sesgos en el criterio de respuesta. El sesgo de respuesta será más evidente cuando

el sujeto tiene que completar la información que percibe. Los juicios se producen por las inferencias basadas en información conocida, y el sesgo en la información incompleta que se presenta (Johnson 1987). En nuestro caso, las cuatro ratas han sesgado su respuesta en función de este sesgo, aumentando la probabilidad de responder a la derecha, en comparación con los ensayos sin sesgo, cuando se aumentaba la probabilidad de ocurrencia o recompensa por ese lado y viceversa. Para las variaciones del estímulo más bajas ILD (2,5 y 1,5) presentadas por la izquierda, la probabilidad de responder derecha cuando se introduce el sesgo en esta dirección aumenta a valores de entre 0,65/0,80 (lo cual, tal y como está definida la tarea, supone una falsa alarma), mientras que en condiciones de no sesgo se encuentra en torno a 0,3. Lo contrario ocurre cuando se introduce el sesgo en la izquierda. Al presentar la mayor intensidad por la derecha con la variación de 1,5 y 2,5, la probabilidad de responder derecha disminuye de entre 0,3 a 0,1 mientras que en condiciones sin sesgo está en torno a 0,5 (lo que supone un fallo en la respuesta). Por tanto, la introducción de sesgos va a repercutir en el rendimiento en la tarea, como planteábamos en los objetivos, ya que desplaza la curva psicométrica hacia arriba y hacia debajo de lo que sería una curva psicométrica ideal en la que la probabilidad de responder derecha en función de la intensidad del estímulo se acerca a 1 cuando la intensidad de dicho estímulo se presenta por la derecha y a -1 cuando se presenta por la izquierda, quedando los valores de intensidad media en 0.

En cuanto a los resultados obtenidos en lo que se refiere a la sensibilidad y el criterio en cada rata, lo esperable sería que el criterio sea lo que más significativamente se pueda modificar cuando tratamos de sesgar la respuesta. Como mencionamos anteriormente, es este componente de la toma de decisiones el que presenta mayor susceptibilidad a la experiencia y por lo tanto la subjetividad del sujeto. El análisis de varianza realizado así lo sugiere, apareciendo cambios significativos en el criterio a la hora de elegir respuesta congruente con la dirección del sesgo. Observando los datos, vemos como tres de ellas (3M, 4M y 3F) presentan un cambio de criterio significativo en el caso de la condición experimental de 2RW mientras que dos (3M y 4F) lo presentan ante la condición 2P por lo que, en este caso, el sesgo de recompensa ha tenido mayor efecto.

El último objetivo planteado hace referencia a las diferencias que podemos encontrar a la hora de tomar decisiones en función del sexo. En este caso, hemos comprobado un rendimiento más homogéneo en la condición experimental 2P mientras que, en la condición de 2RW, parece que el factor sexo ha sido estadísticamente significativo en c y d' , sobre todo cuando el sesgo se dirigía a la derecha. El cambio en el índice c , como

venimos comentando, es debido al cambio de criterio a la hora de responder cuando se sesga la respuesta. El cambio en la sensibilidad suele responder más a cambios en las características del estímulo o del sistema receptor que en este caso no han se han modificado.

CONCLUSIÓN

A pesar de que el tamaño muestral en el trabajo propuesto es pequeño y se necesitarían aumentar el número de ratas para sacar conclusiones válidas los resultados obtenidos sugieren, como planteábamos en los objetivos, el impacto sobre el rendimiento en una tarea de toma de decisiones perceptivas de la manipulación de variables como son la probabilidad de ocurrencia y la cantidad de recompensa obtenida. Con estas manipulaciones, los sujetos presentan un sesgo en su respuesta a favor de la opción más probable o con más recompensa. La importancia de introducir estos sesgos se debe a que nos ayuda a conocer cómo es el proceso de acumulación de evidencia, clave en la toma de decisiones.

El repertorio cognitivo de roedores parece muy adecuado para el estudio de los elementos claves en la toma de decisiones incluida la acumulación de evidencia (Bruton et al. 2013). Estudios neuronales informan como las decisiones perceptivas están sesgadas por las señales contextuales que codifican la probabilidad de ocurrencia o el valor de la respuesta. Según el modelo DDM, las manipulaciones de las alternativas permiten investigar los sesgos de respuesta y cómo se ven afectados por las proporciones de respuesta, tamaño de recompensas, retroalimentación en la precisión de la respuesta etc (Ratcliff y Mckoon, 2008) el efecto de esta manipulación repercute la tasa de deriva y el punto de partida. En investigaciones previas, se observó que el efecto de variar las proporciones relativas de los estímulos, se tradujeron principalmente en diferencias en el punto de partida (Ratcliff y Mckoon, 2008), puesto que la decisión se toma una vez que se alcanza cualquiera de los umbrales de decisión, el acercar el punto de partida a uno de estos umbrales, aumentara la probabilidad de respuesta. Los datos empíricos que se obtienen en tareas conductuales como la expuesta anteriormente sirven para el ajuste del DDM y de esta forma podemos conocer los parámetros para realizar predicciones de las variables conductuales (observables) y las decisionales (no observables).

Conocer si existen diferencias significativas a la hora de sesgar la respuesta en machos y hembras, puede servir para descubrir diferencias a la hora del procesamiento cognitivo de las variables anteriores.

Como señalé en la introducción se han relacionado distintas áreas con el proceso de toma de decisiones perceptivas, conocer los distintos parámetros implicados en el proceso como la acumulación de evidencia, conocimiento previo, o el feedback una vez tomada la decisión junto con datos neurobiológicos (como los registros electroencefalográficos) es fundamental para determinar los correlatos neurales relacionados con el procesamiento de la información sensorial.

ANEXO: Resultados de ANOVAS

ANOVA 3F						
		Suma		Media		
		cuadrados	Gl	cuadrática	F	Sig.
exp_P	d'	2,247	2	1,123	2,172	0,136
	C	0,030	2	0,015	0,118	0,889
exp 2RW	d'	8,953	2	4,476	4,600	0,021*
	C	8,016	2	4,008	19,567	0,000*
ANOVA 4F						
exp_P	d'	0,242	2	0,121	1,013	0,382
	C	2,061	2	1,031	115,069	0,000*
exp 2RW	d'	0,031	1	0,031	0,608	0,448
	c	0,002	1	0,002	1,260	0,281
ANOVA 3M						
exp_P	d'	0,218	2	0,109	1,055	0,360
	c	0,664	2	0,332	32,986	0,000*
exp 2RW	d'	0,202	2	0,101	0,756	0,478
	c	1,197	2	0,599	26,294	0,000*
ANOVA 4M						
exp_P	d'	3,038	2	1,519	0,956	0,398
	c	0,721	2	0,360	0,957	0,397
exp 2RW	d'	0,041	2	0,021	0,150	0,861
	c	0,273	2	0,137	13,662	0,000*

Tabla 1: ANOVA intrasujeto de una vía. Los resultados significativos $p < 0,05$ se destacan en *.

2P d'

Origen	Tipo III de suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo	3,497 ^a	5	0,699	0,930	0,464
corregido					
Intersec	59,222	1	59,222	78,769	0,000*
SEXO	1,780	1	1,780	2,368	0,127
SESGO	0,528	2	0,264	0,351	0,705
SEXO *	0,803	2	0,401	0,534	0,588
SESGO					

2P c

Modelo	2,555 ^a	5	0,511	3,555	0,005
corregido					
Intersec	7,932E-05	1	7,932E-05	0,001	0,981
SEXO	0,507	1	0,507	3,524	0,063
SESGO	2,054	2	1,027	7,146	0,001*
SEXO *	0,076	2	0,038	0,263	0,769
SESGO					

2RW d'

Modelo	19,752 ^a	5	3,950	6,980	0,000
corregido					
Intersecc	99,726	1	99,726	176,208	0,000*
SEXO	4,233	1	4,233	7,479	0,007
SESGO	13,179	2	6,589	11,643	0,000*
SEXO *	13,777	2	6,889	12,172	0,000*
SESGO					

2RW c					
Modelo	9,657 ^a	5	1,931	28,992	0,000
corregido					
Intersec	0,896	1	0,896	13,446	0,000
SEXO	2,541	1	2,541	38,146	0,000*
SESGO	8,525	2	4,263	63,981	0,000*
SEXO * SESGO	2,860	2	1,430	21,465	0,000*

Tabla 2: ANOVA intersujeto 3x2. Los resultados significativos $p < 0,05$ se destacan en *.

Bibliografía

Brunton BW, Botvinick MM, Brody CD. Rats and humans can optimally accumulate evidence for decision-making. *Science*. 2013 Apr 5;340(6128):95-8. doi:

10.1126/science.1233912. PMID: 23559254

Carandini, M. and Churchland, A. K. (2013). Probing perceptual decisions in rodents. *Nat Neurosci*, 16(7):824-831.

Erlich, J. C., Brunton, B. W., Duan, C. A., Hanks, T. D., and Brody, C. D.

(2015). Distinct effects of prefrontal and parietal cortex inactivations on an accumulation of evidence task in the rat. *eLife*, 4:e05457.

Hanks, T. D. y Summerfield, C. (2017). Perceptual decision making in rodents, monkeys, and humans. *Neuron*, 93(1):15-31.

Montgomery KL, Yeh AJ, Ho JS, Tsao V, Mohan Iyer S, Grosenick L, Ferenczi EA, Tanabe Y, Deisseroth K, Delp SL, Poon AS. Wirelessly powered, fully internal optogenetics for brain, spinal and peripheral circuits in mice. *Nat Methods*. 2015 Oct;12(10):969-74. doi: 10.1038/nmeth.3536. Epub 2015 Aug 17. PMID: 26280330; PMCID: PMC5507210

Nguyen QN y Reinagel P (2022) Different Forms of Variability Could Explain a Difference Between Human and Rat Decision Making.

Front. Neurosci. 16:794681. doi: 10.3389/fnins.2022.794681

Pardo-Vazquez, J. L., Castiñeiras-de Saa, J. R., Valente, M., Damião, I., Costa, T., Vicente, M. I., Mendonça, A. G., Mainen, Z. F., & Renart, A. (2019). The mechanistic foundation of Weber's law. *Nature Neuroscience*, 22(9), 1493-1502.

<https://doi.org/10.1038/s41593-019-0439-7>

Pérez-Parra, J.L y Rojas-Líbano, D. (2022): Drift-diffusion cognitive models:

description, applications and perspectives (*Modelos cognitivos de deriva-difusión: descripción, aplicaciones y perspectivas*), *Studies in Psychology*, DOI:

10.1080/02109395.2022.2056802

Ratcliff, R. (1978). A theory of memory retrieval. *Psychological Review*, 85(2), 59–108. <https://doi.org/10.1037/0033295X.85.2.59>

Ratcliff, R., & McKoon, G. (2008). The diffusion decision model: theory and data for two-choice decision tasks. *Neural Computation*, 20(4), 873–922.

Ratcliff, R., Smith, P. L., Brown, S. D., & McKoon, G. (2016). Diffusion decision model: current issues and history. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(4), 260–281. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.01.007>

Ratcliff, R., & Tuerlinckx, F. (2002). Estimating parameters of the diffusion model: Approaches to dealing with contaminant reaction times and parameter variability. *Psychonomic Bulletin & Review*, 9(3), 438–481. <https://doi.org/10.3758/BF03196302>

Shinn, M., Lam, N. H., & Murray, J. D. (2020). A flexible framework for simulating and fitting generalized drift-diffusion models. *eLife*, 9. <https://doi.org/10.7554/eLife.56938>

Smith, P. L. (2000). Stochastic dynamic models of response time and accuracy: A foundational

Swets, J.A. (1996) *Signal Detection Theory and ROC Analysis in Psychology and Diagnostics: Collected Papers*. Lawrence Erlbaum Associates, Mahwah.