



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE MEDICINA

Discriminación visual de cantidades por medio de magnitudes discretas y continuas: un estudio comparativo entre perros y humanos.

T E S I S

Que para obtener el título de
Licenciada en Neurociencias

P R E S E N T A

Mireia Lilit Solé Pi

DIRECTOR DE TESIS

Marcos Francisco Rosetti Sciutto

Facultad de Medicina



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2025



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.



PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL

(Titulación con trabajo escrito)



De conformidad con lo dispuesto en los artículos 87, fracción V, del Estatuto General, 68, primer párrafo, del Reglamento General de Estudios Universitarios y 26, fracción I, y 35 del Reglamento General de Exámenes, me comprometo en todo tiempo a honrar a la institución y a cumplir con los principios establecidos en el Código de Ética de la Universidad Nacional Autónoma de México, especialmente con los de integridad y honestidad académica.

De acuerdo con lo anterior, manifiesto que el trabajo escrito titulado **Discriminación visual de cantidades por medio de magnitudes discretas y continuas: un estudio comparativo entre perros y humanos.** que presenté para obtener el título de licenciado (a) en Neurociencias, es original, de mi autoría y lo realicé con el rigor metodológico exigido por mi Entidad Académica, citando correctamente las fuentes de ideas, textos, imágenes, gráficos u otro tipo de obras empleadas para su desarrollo.

En consecuencia, acepto que la falta de cumplimiento de las disposiciones reglamentarias y normativas de la Universidad, en particular las ya referidas en el Código de Ética, llevará a la nulidad de los actos de carácter académico administrativo del proceso de titulación.

Atentamente,

Mireia Lilit Solé Pi

No. de cuenta: 318572031

Índice

PROTESTA UNIVERSITARIA DE INTEGRIDAD Y HONESTIDAD ACADÉMICA Y PROFESIONAL	2
Índice	3
1. Introducción	5
1.1 Teoría del sentido numérico	6
1.2 Teoría del sentido de magnitud	7
1.3 Una visión holística: Considerando el papel conjunto de magnitudes continuas y discretas	10
1.4 Evidencia de discriminación de cantidades en animales no humanos	12
1.5 El perro doméstico como modelo de estudio	14
1.7 El Dilema Actual	16
2. Hipótesis	18
3. Objetivos	18
3.1 Objetivo general	18
3.2 Objetivos específicos	18
4. Metodología	19
4.1 Participantes	19
4.1.1 Perros	19
4.1.2 Humanos	20
4.2 Setup experimental	20
4.2.1 Perros	20
4.2.2 Humanos	24
4.3 Procedimiento de prueba	25
4.3.1 Perros	25
4.3.2 Humanos	26
5. Análisis estadístico	28
6. Resultados	30
6.1 Condiciones control	30
6.2 Condición experimental	36
6.2.1 Análisis descriptivo	36
6.2.2 Modelado	39
6.3 Latencias	43
6.4 Variables demográficas	47
6.5 Resumen de resultados y cumplimiento de objetivos	47
7. Discusión	49
7.1 Limitaciones	56
8. Conclusión	57
Anexo 1.1 Variables demográficas de los perros	59
Anexo 2.1 Instrucciones para dueños de los perros	61
Anexo 2.2 Instrucciones para participantes humanos	61
10. Referencias	63

1. Introducción

Los números y las matemáticas forman una parte esencial de nuestra vida diaria, aunque no siempre lo notemos. Cada vez que alguien revisa la temperatura para saber qué ropa ponerse, estima el número de platos y cubiertos que necesita para un evento, calcula el cambio que le deben dar en la tienda o escoge la línea con menos gente en el supermercado, está haciendo uso de habilidades de discriminación numérica para obtener información útil del mundo a su alrededor. La capacidad de distinguir entre uno, dos o tres objetos, al igual que la capacidad de distinguir entre un objeto más grande y uno más pequeño, son de las primeras cosas que se les enseñan a los niños en la escuela. Aprender a discriminar cantidades con facilidad y rapidez no solo ayuda a los humanos a desarrollar habilidades matemáticas avanzadas, como multiplicación y división, sino que también impulsa nuestra capacidad para reconocer patrones en el ambiente, resolver problemas complejos, distinguir entre estímulos relevantes e irrelevantes y pensar analítica y estratégicamente.

Además, los humanos no somos los únicos animales que hacen uso de habilidades numéricas, como se pensaba en el pasado; dichas capacidades son esenciales para la supervivencia de una gran cantidad de organismos. Saber cuántos depredadores hay cerca, cuánta comida está disponible, cuántas crías hay en el nido o cuántos pétalos tiene la flor que se debe polinizar son habilidades necesarias para el mantenimiento de las especies. Cada año se descubren nuevos casos de animales no humanos que tienen aptitudes para discriminar cantidades e incluso números exactos, tanto en vertebrados como en invertebrados. Es de particular interés la investigación en animales de compañía, como perros y gatos, dado que podemos explorar cómo la socialización y entrenamiento, la convivencia con humanos y la selección artificial han llevado al desarrollo o cambio de habilidades numéricas.

A pesar de todos los beneficios que la discriminación de cantidades trae a las vidas de un sinnúmero de organismos, incluidos los seres humanos, todavía no entendemos los procesos

cognitivos o neurobiológicos por los cuales surge y se desarrolla este fenómeno. En este trabajo se discuten las principales teorías actuales sobre el tema y se plantea un experimento que explora dichas teorías en dos especies de mamíferos.

1.1 Teoría del sentido numérico

Los mecanismos que los organismos utilizan para la discriminación de cantidades han sido debatidos por un largo tiempo en el campo de la investigación cognitiva. Originalmente se postuló y aceptó la teoría del “sentido numérico”, la cual propone que los animales tienen una habilidad innata y básica para percibir, entender y discriminar numerosidades, es decir, magnitudes discretas (Dehaene et al., 1998; Leibovich et al., 2017). Dicha teoría surgió de las observaciones realizadas en animales, infantes humanos y pacientes afásicos con lesiones, quienes eran capaces de espontáneamente representar y comparar numerosidades en modalidades visuales y auditivas a pesar de la ausencia de capacidades de lenguaje y/o sin haber experimentado transmisión cultural o aprendizaje formal (Dehaene & Changeux, 1993; Leibovich & Henik, 2013).

El primer modelo computacional para esta teoría, desarrollado por Dehaene y Changeux (1993), se basaba en: 1) la representación espacial de objetos por la retina, 2) su posterior mapeo de localización en un mapa topográfico—ignorando magnitudes continuas—por un grupo de neuronas especializadas y 3) la sumatoria de la codificación de dicho mapa, permitiendo la aproximación de numerosidades. Posteriormente, el grupo de investigación de Feigenson (2004) sugirió la existencia de dos sistemas “núcleo”: uno para la cuantificación aproximada y abstracta de grandes numerosidades, que utiliza las relaciones entre diferentes cantidades para representarlas sin exactitud y tiene un límite de proporcionalidad (por ejemplo, los infantes de 6 meses pueden discriminar entre proporciones de 1:2 pero no entre 2:3); y un sistema para la cuantificación precisa de pequeñas numerosidades, que requiere la representación del número absoluto de objetos y tiene un límite numérico que es dependiente de la edad (por ejemplo, 3 objetos en infantes de 14 meses). Estos límites concuerdan con la ley de Weber, la cual postula que

las diferencias entre dos estímulos se vuelven más fáciles de identificar conforme estas diferencias incrementan.

En cambio, Cantlon y otros investigadores (2009) sugirieron que tanto numerosidades grandes como pequeñas comparten mecanismos computacionales de procesamiento, mediante un Sistema Numérico Aproximado (ANS). Este sistema representa no solo numerosidad, sino también magnitudes continuas—área, perímetro, densidad, brillo, etc.—cuya percepción también sigue la ley de Weber y activa áreas cerebrales similares a la percepción de numerosidad, como el surco intraparietal (Cantlon et al., 2009).

Sin embargo, todos los modelos encapsulados dentro de la teoría del sentido numérico cometen la falla de no considerar el efecto de las magnitudes continuas al discriminar entre numerosidades. Incluso el ANS (Cantlon et al., 2009) postula que el procesamiento de magnitudes discretas y continuas son procesos independientes y no correlacionados. Esta deficiencia intentó ser remediada por una nueva teoría, la teoría del sentido de magnitud.

1.2 Teoría del sentido de magnitud

Previamente, se pensaba en las magnitudes continuas y las magnitudes discretas como entidades independientes. En realidad, las magnitudes continuas varían en conjunto y se correlacionan significativamente con la numerosidad (por ejemplo, un gran número de puntos tendrá una mayor área total y ocupará un mayor espacio que un pequeño número de puntos). Por ello, es imposible generar grupos de estímulos que difieran únicamente en numerosidad y ninguna otra propiedad (Leibovich & Henik, 2013; Leibovich et al., 2017); en la Figura 1 observamos que mantener cierta propiedad continua como constante (por ejemplo, tamaño individual) llevará a cambios en otras propiedades continuas (por ejemplo, área acumulativa). Estas preocupaciones dieron lugar al surgimiento de la teoría del “sentido de magnitud”, la cual postula que la diferencia entre magnitudes continuas de los estímulos es el verdadero motor detrás de la discriminación de cantidades (Leibovich

et al., 2017). Desde 2003, Walsh propuso que todas las magnitudes, en todas sus modalidades, se representan en el lóbulo parietal, y que su procesamiento nos permite guiar acciones motoras e interactuar con el mundo.

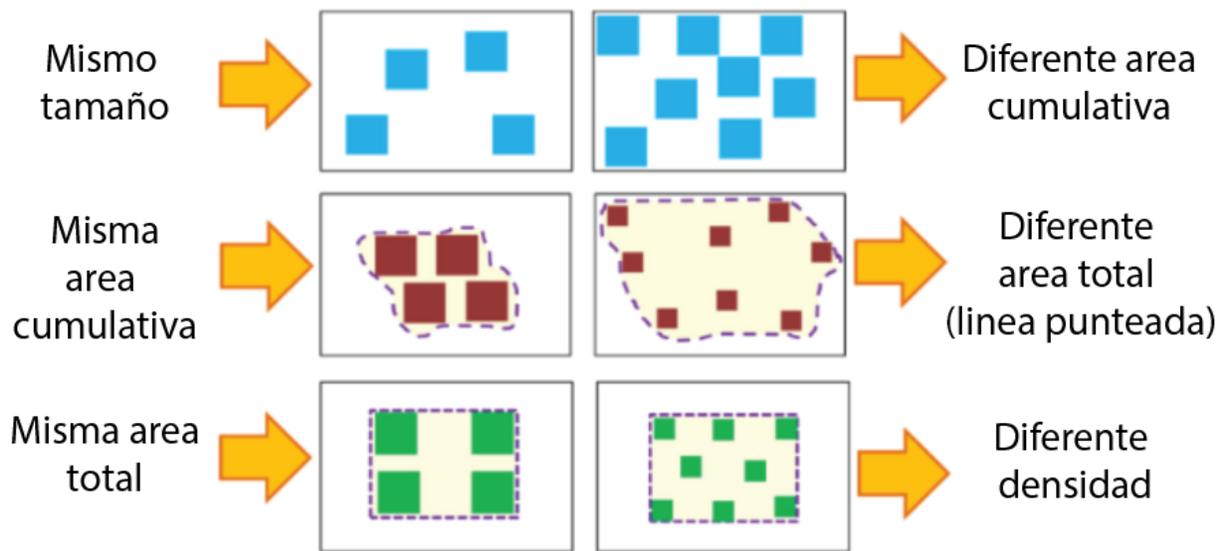


Figura 1. Correlación entre número y magnitudes continuas. Cualquier intento de controlar una magnitud en dos grupos diferentes modifica otras magnitudes continuas, por lo que es imposible tener dos grupos de objetos que varíen solo en su numerosidad. *Nota.* Tomado de “Magnitude processing in non-symbolic stimuli.”, T. Leibovich; A. Henik, 2013, *Frontiers in Psychology*, 4, p. 2.

Se ha intentado reducir el efecto de las magnitudes continuas en tareas de discriminación de cantidades por medio de varios métodos, como mantener una o varias magnitudes fijas a través de los ensayos aunque varíe la numerosidad (Abreu-Mendoza & Arias-Trejo, 2015; Gebuis & Reynvoet, 2012) o comparar los efectos de tener numerosidades congruentes o incongruentes con las magnitudes continuas (por ejemplo, el grupo con mayor número de objetos tiene un área mayor en ensayos congruentes, mientras que tiene un área menor en ensayos incongruentes) (Hurewitz et al., 2006). Estos experimentos han generado críticas interesantes a la teoría del sentido numérico.

Por ejemplo, Gebuis y Reynvoet (2013) realizaron un estudio de electroencefalografía (EEG) en el que controlaron el mayor número posible de magnitudes continuas de los estímulos, variando principalmente su numerosidad; encontraron que

áreas parietales asociadas al procesamiento de cantidades no presentan cambios en amplitud al procesar numerosidad de forma pasiva ni activa—es decir, cuando se les indicaba a los sujetos que se centraran en los cambios de número. También observaron que ciertos eventos de actividad cerebral previamente atribuidos a numerosidad eran causados por magnitudes continuas incorrectamente controladas que estaban interfiriendo con el procesamiento.

Otro estudio de EEG, realizado por Soltész & Szűcs (2014), comparó potenciales relacionados a eventos (ERP) durante la detección de cambios en numerosidad y forma de estímulos, utilizando 16 electrodos colocados en el área temporal-parietal. Observaron que cambios en la forma de los estímulos provocaban efectos importantes en componentes visuales tempranos como N1 (150-200 ms) y P2 (220-230 ms), señalando un procesamiento rápido y automático, mientras que cambios en la numerosidad de los estímulos no provocaban cambios en estos dos componentes. Adicionalmente, experimentos realizados en infantes han revelado que prefieren discriminar conjuntos en base a sus propiedades perceptuales básicas, como perímetro y área, en lugar de su número, una propiedad abstracta (Clearfield & Mix, 1999; Clearfield & Mix, 2001). Esto sugiere que, aunque podemos usar ambos tipos de magnitudes, el mecanismo innato de procesamiento de cantidades hace uso de variables no numéricas para hacer estimaciones rápidas.

Dicha evidencia coincide con la hipótesis del “último recurso”, la cual propone que el procesamiento de información numérica involucra una carga cognitiva mayor; dado que requiere más esfuerzo para procesarla que otras propiedades visuales, la numerosidad es una propiedad de alto nivel ensamblada a partir de señales perceptuales correlacionadas y, por lo tanto, debe ser la última propiedad de un estímulo que se usa al discriminar (Davis & Pérusse, 1988).

Otro argumento que apoya la teoría del sentido de magnitud por encima de la teoría del sentido numérico es que la necesidad de enumerar no parece tener un propósito

evolutivo, sino cultural (Moore, 2021), ya que incluso en la actualidad hay grupos culturales que no hacen uso de representaciones numéricas exactas, tan solo aproximadas. Estas comunidades, como los Mundurukú y los Pirahã del Amazonas, son denominadas anuméricas y suelen presentar problemas para realizar juicios numéricos con cantidades mayores a tres o cuatro (Pica et al., 2004; Moore, 2021). En el caso de animales no humanos, estimar y discriminar entre cantidades debería ser suficiente para tomar decisiones importantes que promuevan su supervivencia, por lo que es probable que este también fuera el caso para los seres humanos antes de la aparición de representaciones numéricas que han sido definidas culturalmente (Leibovich & Henik, 2013).

1.3 Una visión holística: Considerando el papel conjunto de magnitudes continuas y discretas

La evidencia de los estudios realizados en el área es muy contradictoria—con algunos sugiriendo que el área es una característica más saliente que la numerosidad, otros sugiriendo lo contrario y algunos sugiriendo que la saliencia entre magnitudes continuas o discretas es la misma (Leibovich & Henik, 2013). En la sección anterior, se mencionaron estudios que parecen probar que las magnitudes discretas tienen un papel más automático al discriminar (Gebuis & Reynvoet, 2013; Soltész & Szűcs 2014). Sin embargo, estudios recientes sugieren cosas diferentes.

Por ejemplo, en 2020 el grupo de investigación de Testolin desarrolló una prueba de comparación de numerosidad que fue resuelta por participantes humanos y redes neuronales profundas, y reportaron que las elecciones de ambos estaban principalmente influenciadas por la numerosidad del estímulo aunque hubiera otras señales no numéricas. Cabe recalcar que también observaron que las magnitudes continuas—particularmente perímetro total de los objetos—modulaban la caracterización de la numerosidad, indicando que ambas propiedades, discretas y continuas, son importantes para la discriminación. Aun así, casi ningún experimento ha podido corroborar que los participantes no se ven

influenciados por las magnitudes continuas que no son manipuladas o controladas, por lo que es difícil extraer conclusiones definitivas sobre los procesos de estimación.

Tomando todo esto en cuenta, en 2017 Leibovich y sus compañeros proponen un modelo holístico que intenta explicar todas las complejidades de la estimación de cantidades; dicho modelo se visualiza gráficamente en la Figura 2. Este modelo sugiere que los humanos no nacen con la habilidad de discriminar numerosidades, sino que esta se desarrolla al crecer; los recién nacidos tienen una agudeza visual muy mala y son incapaces de distinguir los objetos entre sí y contra el fondo en que se presentan—un proceso conocido como individuación—antes de los 5 meses de edad, por lo que deben recaer en magnitudes continuas para hacer juicios (Leibovich et al., 2017). Una vez que esta habilidad de individuación se desarrolla y se obtiene el lenguaje necesario para poder comprender y nombrar magnitudes discretas (palabras numéricas), los bebés empiezan a percibir la correlación natural entre numerosidad y magnitudes continuas y la integran para estimar cantidades. A cierta edad, los niños aprenderán que las magnitudes discretas y continuas no siempre se correlacionan directamente, y podrán hacer uso de habilidades de inhibición y control cognitivo para utilizar ambas cuando es apropiado o ignorar las magnitudes continuas cuando son irrelevantes o incongruentes al estimar el número de objetos (Leibovich et al., 2017).

Desarrollo del concepto de número - Un modelo teórico

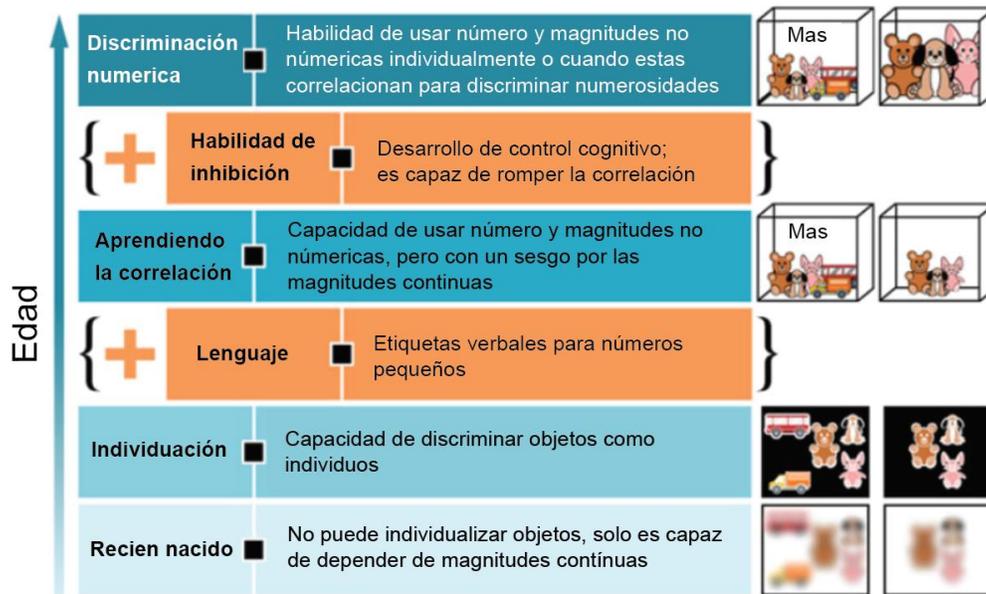


Figura 2. Modelo teórico que describe los puntos de referencia del desarrollo de habilidades numéricas básicas en humanos. *Nota.* Tomado de “From “sense of number” to “sense of magnitude”: The role of continuous magnitudes in numerical cognition”, T. Leibovich et al., 2017, Behavioral and Brain Sciences, 40, p. 14.

Este modelo integra de manera muy elegante las dos principales teorías sobre discriminación de cantidades en humanos, y es el que nos guiará al explorar las decisiones de humanos en el experimento planteado.

1.4 Evidencia de discriminación de cantidades en animales no humanos

En el caso de animales no humanos, la cantidad de estudios que investigan procesos numéricos no simbólicos ha aumentado drásticamente en las últimas décadas. La discriminación por tamaño y numerosidad es un fenómeno que se ha reportado en una gran variedad de grupos de animales, incluyendo primates (Beran, 2006; Beran et al., 2015), carnívoros sociales como leones, hienas y lobos (Benson-Amram et al., 2017), pájaros (Emmerton, 2001), ungulados (López-Caicoya, 2023), peces (Agrillo & Bisazza, 2017) e incluso invertebrados (Gatto et al., 2022).

Se sabe que los animales son capaces de diferenciar entre cantidades dependiendo de sus magnitudes continuas (tamaño, masa o superficie), pero también entre grupos con diferente número de objetos. Esta habilidad puede ofrecer una gran ventaja evolutiva a los animales en diversos contextos ecológicos y situaciones de vida, como la optimización de ingesta de alimentos al guiar la toma de decisiones en el forrajeo o cacería (Bánszegi et al., 2016; Panteleeva et al., 2013), la reducción de riesgo de predación al poder unirse a los grupos con más congéneres (Benson-Amram et al., 2011; Gómez-Laplaza & Gerlai, 2011), o el incremento en posibilidades de apareamiento al poder unirse a los grupos con la proporción de sexo más favorable (Agrillo et al., 2008). Por lo tanto, esta herramienta cognitiva debería ser fomentada por la selección natural.

Se ha propuesto que los animales, al igual que los humanos, poseen un “sentido numérico” espontáneo y automático que se desarrolla desde su nacimiento (Feigenson et al., 2004). Esto se ha visto apoyado por estudios como el de Viswanathan y Nieder (2013), quienes observaron que había actividad neuronal afinada a numerosidades específicas en las áreas frontoparietales del cerebro de monos, aunque estos no hubieran sido entrenados a discriminar cantidades y estuvieran realizando una tarea centrada en color en lugar de en número. Se ha encontrado evidencia similar en cuervos (Bogale et al., 2014), que podían escoger el grupo con el mayor número de ítems de comida, incluso para cantidades mayores a cuatro, y en peces mosquito (Agrillo et al., 2008), que tenían la capacidad de identificar y escoger el grupo con mayor número de peces del sexo opuesto.

Aun así, estos estudios poseen las mismas limitaciones metodológicas que aquellos realizados en humanos: es imposible controlar todas las magnitudes continuas involucradas en la discriminación y concluir que la estimación y comparación se basaba únicamente en la numerosidad. Además, se ha observado que una vez que las magnitudes continuas y la numerosidad de los estímulos son incongruentes, la habilidad de los animales de tomar decisiones es menos consistente.

La teoría del sentido numérico no es unánimemente apoyada por experimentos en los que se ha probado la elección de los animales entre diferente número de estímulos pero controlando el volumen o la superficie, o viceversa. Se ha observado que algunas especies, como gatos (Pisa & Agrillo, 2009) y perros (Miletto Petrazzini & Wynne, 2016), discriminan entre cantidades en base a la magnitud continua de estímulo, sin utilizar información numérica. Los chimpancés son otra especie que suele basar su juicio en el área individual del estímulo en lugar de en el número; prefieren el grupo que contiene la pieza de comida con mayor área individual aunque tenga una cantidad total de estímulo menor (Beran et al., 2008).

En cambio, otras especies exhiben un sesgo a escoger utilizando la numerosidad más que las magnitudes continuas del estímulo, como los monos rhesus (Cantlon & Brannon, 2007), caballos (Uller & Lewis, 2009) y arañas (Rodríguez et al., 2015). Debido a los resultados contradictorios que se observan en la literatura, incluso para una misma especie, algunos autores han sugerido que la saliencia de magnitudes continuas y discretas depende del contexto en que se encuentre el animal. Por ejemplo, las magnitudes discretas pueden tener mayor importancia en situaciones de forrajeo porque brindan más información sobre la masa total de alimento (Miletto Petrazzini & Wynne, 2016).

1.5 El perro doméstico como modelo de estudio

Estudios de las últimas décadas sugieren que el perro doméstico (*Canis lupus familiaris*) es una especie modelo interesante para realizar neurociencia comparativa. En 2017, Bunford y otros argumentan que esto se debe a múltiples razones. Primero que nada, los perros están acostumbrados a convivir con humanos, por lo que suelen ser naturalmente cooperativos y entrenables, y permiten que se les apliquen pruebas o participar en métodos no invasivos sin oponerse. Esto brinda la posibilidad de realizar experimentos en ambientes naturalísticos, con resultados más generalizables que los que se obtendrían con especies criadas y mantenidas en un laboratorio. El mismo grupo de estudio menciona que hay una gran cantidad de habilidades cognitivas convergentes que los perros y

humanos comparten—incluyendo percepción de movimiento, atribución de atención, toma de perspectivas, estrategias cognitivas para la resolución de problemas, entre otras—lo que permite usar al perro doméstico para estudiar dichas características (Bunford et al., 2017). Debido a esto, la cantidad de experimentos que exploran su cognición y comportamiento ha ido en aumento desde 2005 (Aria et al., 2021).

Estudios que se centran en las habilidades cuantitativas de los perros han descubierto que sus decisiones entre diversas cantidades siguen la ley de Weber y que son capaces de discriminar espontáneamente entre estímulos con una proporción de hasta 1:0.5 (Miletto Petrazzini & Wynne, 2016) o 1:0.6 entre ellos (Ward & Smuts, 2007). Con entrenamiento, los perros son capaces de discriminar entre estímulos con una proporción de hasta 1:0.8 entre ellos (Rivas-Blanco et al., 2020).

Miletto Petrazzini y Wynne (2016) probaron la discriminación espontánea de perros entre diferentes cantidades de comida. A pesar de que los perros escogieron la cantidad mayor de comida o el número mayor de alimentos significativamente, una vez que la cantidad total de comida se mantuvo constante, pero se modificó el número de alimentos, la decisión de los perros se volvió azarosa. Esto parece indicar que los perros basan su decisión en el área total en lugar de en el número de objetos, usando la numerosidad como último recurso. Adicionalmente, Miletto Petrazzini y Wynne (2016) encontraron que los perros parecen utilizar tanto el área total como el tamaño individual de los objetos para hacer elecciones, y sugieren que el acceso a información sobre ambas magnitudes continuas podría explicar un mejor desempeño en las tareas.

Aun así, esto no niega la posibilidad de que los perros tengan o puedan desarrollar un sentido numérico. Una de las primeras evidencias que se encontró del sentido de numerosidad controlando para magnitudes discretas en perros fue gracias a Macpherson y Roberts (2013), quienes entrenaron a un perro a discriminar entre grupos de figuras geométricas con variación en numerosidad pero controlados en volumen, y encontraron que demostraba habilidades de discriminación de número comparables a otros animales.

Es importante considerar la limitada generalizabilidad de estos resultados, dada la muestra y artificialidad del experimento; adicionalmente, Macpherson y Roberts (2013) observaron que otros 27 perros fallaban en una tarea de discriminación espontánea para proporciones diferentes a 1:0. Más recientemente, se descubrió que los perros presentan activación de la corteza parietotemporal que depende de la proporción numérica de los objetos que visualizan, mostrando una representación neural de numerosidades en la ausencia de entrenamiento que se asemeja a la de humanos y primates (Aulet et al., 2019). Sin embargo, este estudio no controló las magnitudes continuas, obviando el efecto del área individual de cada objeto, el perímetro total, etc. en la decisión del animal.

1.7 El Dilema Actual

La importancia de la numerosidad vs las magnitudes continuas de un estímulo en el momento de discriminar cantidades se ha estudiado en pocas especies, con diferencias metodológicas significativas (entrenamiento vs elección espontánea, estímulos artificiales vs comida, etc.), por lo que aún no es posible extraer conclusiones sobre los procesos que los organismos usan al momento de estimar o la saliencia de las distintas magnitudes.

Se ha propuesto que el entrenamiento de animales para estudios de discriminación de cantidades genera una capacidad numérica que no presentan naturalmente, por lo que las pruebas de elección espontánea tienen una mayor validez ecológica al representar situaciones que el animal podría encontrar en su entorno (Panteleeva, 2013). Por lo tanto, el objetivo de este trabajo fue aplicar un paradigma de elección espontánea de dos opciones a perros, utilizando estímulos ecológicamente relevantes, para determinar si la numerosidad, el área total y/o el área individual de los estímulos tienen una influencia en su estimación y selección de cantidades. Los estudios previos (Miletto Petrazzini & Wynne, 2016; Ward & Smuts, 2007) sugieren que las magnitudes continuas son más relevantes para los perros que la numerosidad al elegir entre cantidades. Debido a esto, esperábamos observar que los perros eran capaces de discriminar entre estímulos con diferente área

total, y que al escoger entre estímulos con la misma área total, se basarían principalmente en el área individual para tomar decisiones, dejando de lado la numerosidad.

Se utilizó al ser humano como especie de comparación dado que la mayoría de estudios de habilidades numéricas se basan en sus capacidades. En el caso de los humanos, esperábamos observar un fenómeno como el descrito en el modelo del grupo de investigación de Leibovich (2017) (explicado en detalle en la Figura 2). Se predijo que los humanos serían capaces de discriminar entre estímulos con áreas totales diferentes, y que al escoger entre estímulos con la misma área total, se basarían tanto en la numerosidad como en el área individual para tomar decisiones, considerando magnitudes discretas y continuas en conjunto.

2. Hipótesis

Ambas especies, perros y humanos, serán capaces de discriminar cantidades en los ensayos control, donde la diferencia es en el área total de los estímulos. En el caso de las pruebas experimentales, donde se presenta la misma área total, pero en disposiciones espaciales/formas distintas, ambas especies presentarán una preferencia por el estímulo que contenga la pieza con el área individual más grande (guiándose por la magnitud continua) por encima de estímulos que tengan mayor número de piezas, pero de menor área individual (prestando menor atención a la magnitud discreta).

3. Objetivos

3.1 Objetivo general

Identificar si la percepción visual de cantidades se ve afectada por las magnitudes discretas (numerosidad) o continuas (área total, área individual) de estímulos ecológicamente válidos en perros y humanos, y si dicho efecto es equivalente entre estas dos especies.

3.2 Objetivos específicos

- Corroborar que los humanos y perros son capaces de discriminar estímulos en base a su área total de forma espontánea.
- Identificar si existen preferencias generalizadas ante estímulos con cierta numerosidad o área individual de sus componentes.
- Cuantificar la variabilidad intra-especie e inter-especie en la percepción de cantidades de acuerdo con cambios en sus magnitudes discretas y continuas.
- Comparar el desempeño de una especie de animal de compañía con el del ser humano, acercándonos a conclusiones sobre la evolución de los sistemas de estimación de cantidades en los mamíferos.

4. Metodología

4.1 Participantes

4.1.1 Perros

Los dueños de perros que estuvieran interesados en participar fueron reclutados por medio de redes sociales y la comunicación con otros estudiantes y conocidos. Las condiciones para participar eran que el animal: a) fuera amigable con desconocidos; b) no tuviera problemas evidentes de visión; c) tuviera al menos un año de edad; y d) pesara más de 10 kg. Esta última condición se añadió porque consideramos que perros muy pequeños serían incapaces de visualizar los estímulos correctamente desde el suelo debido a su estatura reducida. También se pidió el consentimiento del dueño para privar al animal de comida por cuatro horas previas a cada sesión de prueba, además del permiso para que la aplicadora de las pruebas visitara y realizara la prueba con la mascota en su casa.

Se visitó a un total de 38 perros domésticos en sus casas en Ciudad de México y Estado de México. De estos, un subgrupo de tres perros tuvieron que ser descartados porque estaban demasiado ansiosos durante la prueba o porque mostraron una falta de motivación para ir hacia los estímulos alimenticios en tres ocasiones consecutivas. Tras la recolección de datos, se excluyeron a otros seis perros del análisis de datos debido a la presencia de un sesgo de lado o lateralidad, que se identificó si el animal había escogido el mismo lado—derecho o izquierdo—más de 11 de los 14 ensayos totales, sin importar los estímulos presentados.

La base de datos final consistió de un total de 28 perros adultos (media 4.06 ± 3.1 años, media 23.4 ± 8.4 kg; 13 machos, cuatro intactos, nueve esterilizados; 15 hembras, 4 intactas, 11 esterilizadas). 12 de los perros eran de raza (dos bulldogs, dos pastores belgas, dos pastores alemanes) y el resto mixtos. Ninguno de los animales estaba profesionalmente entrenado, pero los dueños de 12 de los perros reportaron que sus perros sabían seguir comandos verbales y responder ante gestos simples. Para más detalles de las variables demográficas de los perros, estos se encuentran en el Anexo 1.1.

4.1.2 Humanos

Reclutamos y evaluamos a adultos jóvenes de la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en la Ciudad de México. Los criterios de inclusión para poder participar en el estudio eran: a) tener visión normal o corregida; b) ser hablantes nativos del español; c) tener entre 18 y 26 años; y d) no estar bajo la influencia de alguna sustancia psicoactiva. Un total de 40 participantes completaron la prueba, pero los datos de dos de ellos tuvieron que ser excluidos porque expresaron verbalmente que habían malinterpretado las instrucciones. El análisis final se realizó con los datos de un total de 38 participantes adultos (63% mujeres, media 21.65 ± 2.26 años). Para más detalles de las variables demográficas de los participantes humanos, estos se encuentran en el Anexo 1.2.

4.2 Setup experimental

4.2.1 Perros

Consideramos que era importante utilizar la comida que el animal prefiere para que este se encontrara propiamente motivado. En el caso de los perros, se ha observado que comida de mejor calidad, como salchichas, induce mayor motivación que croquetas (Riemer et al., 2018). Por lo tanto, a los perros se les ofreció jamón antes de la prueba para asegurarnos de que fuera lo suficientemente motivante para ellos; todos los perros aceptaron el jamón y pidieron más, por lo que realizamos la prueba con este tipo de comida.

Cada perro participó en tres tareas de elección espontánea con dos opciones de comida, 14 ensayos en total: dos condiciones control (diseñadas para verificar si el animal distinguía entre dos cantidades de comida con diferente área total) y una condición experimental (en la que se presentaba la misma área de comida pero en diferentes formas).

Los estímulos de comida se presentaron en cuatro disposiciones planas diferentes, como se muestra en la Figura 3: 1) un círculo grande lleno (círculo), 2) un círculo vacío (dona), 3) cuatro círculos pequeños del mismo tamaño (puntos) or 4) ocho círculos más pequeños del mismo tamaño, cada uno colocado en las esquinas de un octágono regular (corona). Se utilizaron tres áreas diferentes para las pruebas: 31.4 cm², 21.04 cm², y 15.7 cm². En las condiciones control, se les ofreció la misma forma de comida pero con diferentes áreas, para comprobar si escogían la cantidad mayor de comida espontáneamente. En el Control A (cuatro ensayos), la proporción fue de 1:0.5 entre las dos porciones de comida (31.4 cm² vs 15.7 cm²); en el Control B (cuatro ensayos), la proporción fue de 1:0.67 entre las dos porciones de comida (31.4 cm² vs 21.04 cm²). En los ensayos experimentales, presentamos dos porciones de comida de área igual (31.4 cm² vs 31.4 cm²), pero con formas diferentes (seis ensayos): círculo vs dona, círculo vs puntos, círculo vs corona, dona vs corona, dona vs puntos y corona vs puntos.

El área individual de cada ítem en las cuatro formas era el siguiente:

- Círculo - 31.4 cm²
- Anillo - 31.4 cm²
- Puntos - 7.85 cm² para cada uno de los cuatro círculos
- Corona - 3.93 cm² para cada uno de los ocho círculos

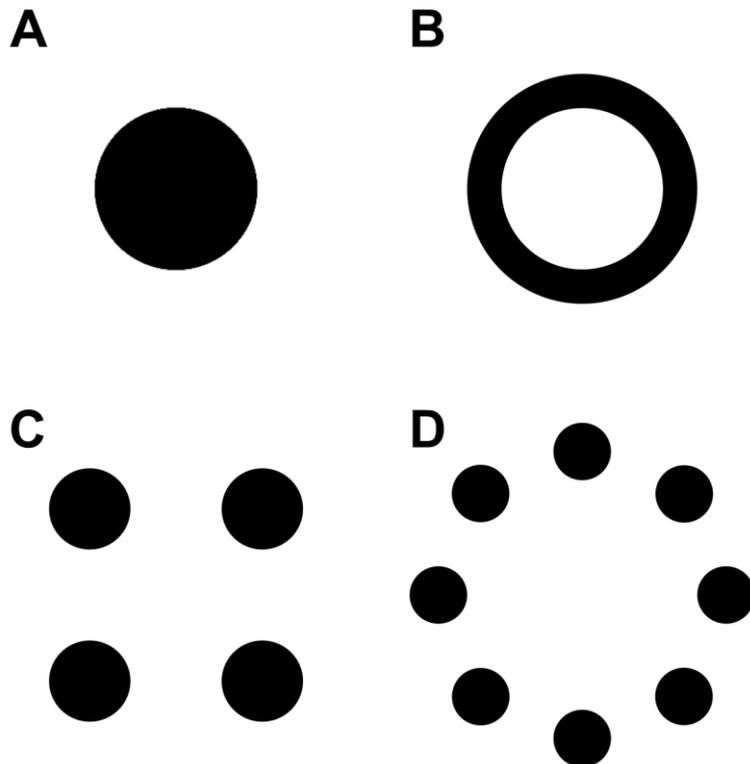


Figura 3. Los estímulos (generados con jamón para los perros y como formas geométricas negras para los humanos) se presentaron en cuatro formas diferentes. Las disposiciones espaciales utilizadas en las tareas: A) un círculo grande (círculo), B) un círculo vacío (dona), C) cuatro círculos pequeños del mismo tamaño, colocados en las esquinas de una cuadrado (puntos) y D) ocho círculos pequeños del mismo tamaño, colocados en las esquinas de un octágono regular (corona).

Por lo tanto, los ensayos completados por cada sujeto fueron los siguientes:

Cuatro ensayos del Control A, con el que se quería vislumbrar si los perros discriminan entre dos porciones de comida con la misma forma, pero con proporción 1:0.5 de área total entre ellas:

- Círculo de tamaño 1 vs Círculo de tamaño 0.5 (Fig. 4)
- Dona de tamaño 1 vs. Dona de tamaño 0.5
- Puntos de tamaño 1 vs. Puntos de tamaño 0.5
- Corona de tamaño 1 vs. Corona de tamaño 0.5



Figura 4. Ejemplo de un posible ensayo del Control A. Se muestra una comparación entre un círculo de tamaño 1 (31.4 cm²) del lado izquierdo y un círculo de tamaño 0.5 (15.7 cm²) del lado derecho.

Cuatro ensayos del Control B, en que se quería vislumbrar si los perros discriminan entre dos porciones de comida con la misma forma, pero con proporción 1:0.67 de área total entre ellas:

- Círculo de tamaño 1 vs Círculo de tamaño 0.67
- Dona de tamaño 1 vs. Dona de tamaño 0.67
- Puntos de tamaño 1 vs. Puntos de tamaño 0.67
- Corona de tamaño 1 vs. Corona de tamaño 0.67 (Fig. 5)



Figura 5. Ejemplo de un posible ensayo del Control B. Se muestra una comparación entre una corona de tamaño 1 (31.4 cm²) del lado derecho y una corona de tamaño 0.67 (15.7 cm²) del lado izquierdo.

Seis ensayos experimentales, con los que se quería vislumbrar si los perros discriminan entre dos porciones de comida con la misma área total, pero con diferentes formas:

- Círculo de tamaño 1 vs. Dona de tamaño 1

- Círculo de tamaño 1 vs. Puntos de tamaño 1
- Dona de tamaño 1 vs. Puntos de tamaño 1 (Fig. 6)
- Círculo de tamaño 1 vs. Corona de tamaño 1
- Dona de tamaño 1 vs. Corona de tamaño 1
- Puntos de tamaño 1 vs. Corona de tamaño 1



Figura 6. Ejemplo de un posible ensayo experimental. Se muestra una comparación entre unos puntos de tamaño 1 (31.4 cm²) del lado izquierdo y una dona de tamaño 1 (31.4 cm²) del lado derecho.

Los estímulos se presentaron en dos platos planos y cuadrados de plástico negro (20 cm x 20 cm), los cuales fueron colocados en el piso en una lámina de plástico gris (100 cm x 60 cm), con una distancia entre ellos de 30 cm.

4.2.2 Humanos

Utilizamos una serie de tareas de elección con dos opciones que se crearon en el software PsychoPy (Peirce et al., 2019) y presentadas en una pantalla LCD de 14 pulgadas de una computadora DELL Vostro 14 3000 con un ratón. Las instrucciones presentadas en la pantalla pidieron al participante hacer click en la imagen con el área negra mayor tan rápido como pudiera. Cada persona, al igual que los perros, completó ensayos en las tres diferentes condiciones: Control A, Control B y Experimental.

En el Control A, la proporción fue de 1:0.5 entre los estímulos, con las siguientes áreas totales: 29.22 cm² vs. 14.61 cm²; en el Control B, la proporción fue de 1:0.67 entre

los estímulos, con las siguientes áreas totales: 29.22 cm² vs. 19.58 cm². En los ensayos experimentales, se presentaron estímulos con la misma área (29.22 cm² vs 29.22 cm²) pero diferente forma, iguales a los de los perros.

Para los participantes humanos, cada presentación se giró horizontalmente 180° y se añadió la imagen volteada con propósito de contrabalanceo, dando lugar a un total de 28 ensayos para cada individuo. El orden de presentación de todos los ensayos se aleatorizó para cada participante. La elección y la latencia para cada ensayo se registraron automáticamente. Si el participante excedía la latencia máxima de elección para un ensayo (diez segundos), el programa saltaba inmediatamente al siguiente ensayo y registraba la información como faltante.

4.3 Procedimiento de prueba

4.3.1 Perros

La prueba se aplicó individualmente a cada animal en su casa, de preferencia en una habitación cerrada que les fuera familiar. Las pruebas se aplicaron entre 09:00 h y 19:00 h de acuerdo a la disponibilidad del dueño. Se pidió a los dueños que privaran al animal de comida cuatro horas antes de la prueba. Fuera del rango de visión del dueño y el animal, los estímulos de comida se prepararon en los platos negros y se colocaron sobre la lámina gris. El investigador prendió la cámara (GoPro 4 Session, GoPro Inc, California) y caminó hacia atrás, pero se mantuvo alineado con el medio de la lámina de plástico.

La Figura 7 muestra la disposición espacial del sujeto experimental, el dueño, el investigador y los estímulos en el momento de iniciar un ensayo. El investigador pidió al dueño que se acercara con el animal y lo colocara en el punto de inicio, marcado en el suelo a 2 m de la lámina de plástico. Posterior a la visualización de ambos platos de comida, el dueño debía soltar al perro para que este realizará su elección. Las instrucciones dadas por el investigador al dueño se pueden encontrar en el Anexo 2.1. Se definió la “elección” como el animal yendo a uno de los platos y manipulando la comida

(lamer, comer o tocar). Cuando el animal escogía un plato, el investigador retiraba el otro y permitía que el animal comiera brevemente del estímulo elegido para promover la motivación pero evitando que se saciara. Los perros completaron 14 ensayos. Ninguno de los perros perdió la motivación o dejó de tomar decisiones.

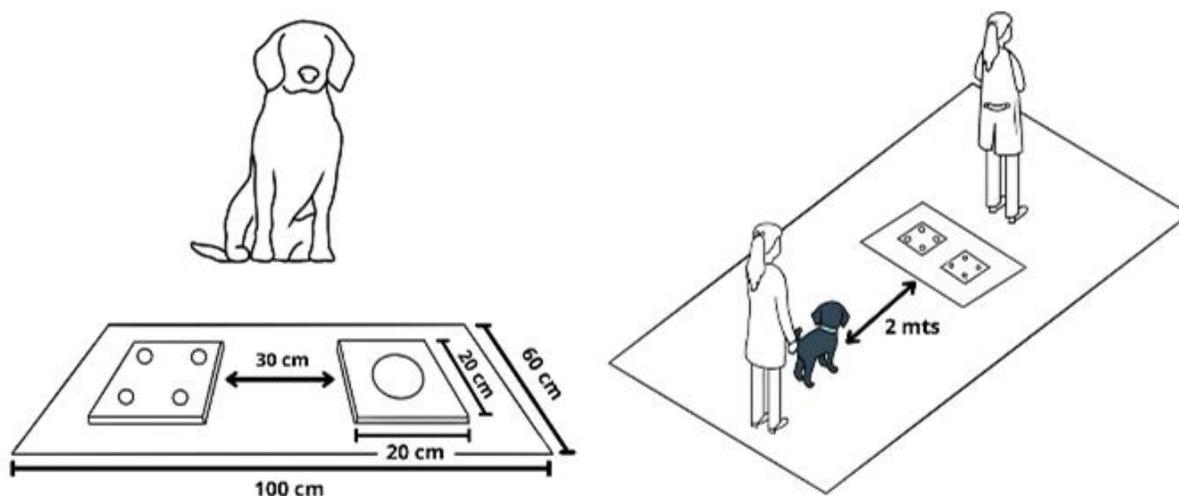


Figura 7. Representación esquemática (basada en [Bánszegi et al., 2016; Lööke et al., 2021]) de la tarea de elección espontánea de dos opciones para perros. El panel izquierdo muestra la presentación de los estímulos: la comida se mostró en dos platos de plástico negro (20cm x 20 cm), colocados encima de una lámina de plástico (60cm x 100 cm). El panel derecho muestra la posición del sujeto animal, el dueño y el experimentador con relación a los estímulos: los perros fueron colocados en una posición marcada (2m de los estímulos) por sus dueños, mirando en dirección a los platos, y fueron liberados después de cinco segundos de visualizar el estímulo.

Para excluir preferencias de lado, se contrabalanceó la presentación derecha-izquierda de las porciones pequeñas y grandes y de las diferentes formas. Además, rotamos la posición de los estímulos y el punto de inicio alrededor de la habitación para excluir posibles factores ambientales (puertas, luz, etc.). El orden de ensayos se aleatorizó para cada participante, pero siempre se presentaron primero los ensayos control y luego los ensayos experimentales.

4.3.2 Humanos

Después de que los participantes firmaran el formato de consentimiento, el investigador registró sus iniciales, edad, sexo y si su visión había sido corregida o no.

Subsecuentemente, se les llevó a una habitación callada y bien iluminada y se les indicó que se sentaran en una mesa con una computadora y un ratón. Se les pidió que leyeran y siguieran las instrucciones mostradas en la pantalla; las instrucciones presentadas pueden encontrarse en el Anexo 2.2. La Figura 8 representa la disposición espacial del sujeto y la computadora al momento de iniciar un ensayo. El investigador se quedó en la habitación durante la tarea, sentado en frente del participante y mirando en la dirección opuesta para no influenciar o distraerlo. La tarea tomó aproximadamente 5 minutos en completar.

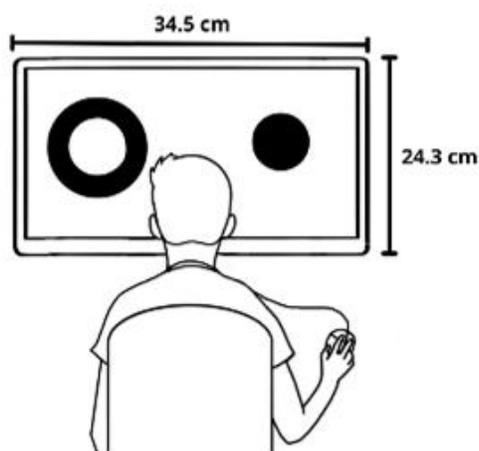


Figura 8. Representación esquemática de la tarea de elección de dos opciones para humanos. Los participantes completaron la tarea en una pantalla de computadora (34.5 cm x 24.3 cm) utilizando un ratón.

5. Análisis estadístico

Todo el análisis estadístico se realizó con el lenguaje de programación R (versión 4.3.2), en la plataforma RStudio.

Para las dos condiciones de control, se calculó el desempeño a nivel individual (cuántas veces escogían el estímulo grande o pequeño a lo largo de los ensayos); además, se realizaron pruebas binomiales comparando el número total de ensayos exitosos (donde se había escogido la porción de comida o la imagen más grande) para todos los sujetos con el número total de ensayos para ese tipo de control, con $p = 0.5$ (probabilidad de éxito en un ensayo cualquiera equivalente al nivel del azar). Esto nos permitió identificar si los individuos discriminaban entre estímulos con diferente área total. También se realizó una prueba de Wilcoxon comparando el desempeño entre el Control A (1 vs 0.5) y el Control B (1 vs 0.67), para observar si la discriminación era más fácil o difícil según la proporción entre los estímulos, y una prueba de Wilcoxon comparando el desempeño en controles con las distintas formas, para observar si la discriminación era más fácil o difícil para alguna de las formas.

Para la condición experimental, primero se realizó un análisis exploratorio en el que se calcularon preferencias por formas a nivel individual y se realizaron pruebas de Wilcoxon para comparar la elección de las dos formas que se presentaban en cada ensayo; esto nos permitió discernir si había una preferencia por una forma por encima de la otra. Posteriormente, se utilizó un Modelo Generalizado Lineal (GLM) binomial logístico para modelar la proporción de elecciones en los ensayos experimentales en función de tres variables con interacción: combinación de formas (tipo de comparación por ejemplo, círculo vs puntos), la forma (las dos formas posibles para el ensayo) y especie. Quitar cualquiera de estas variables o agregarlas al modelo sin interacción reducía su poder explicativo significativamente.

Se seleccionó el modelo con el Criterio de Información de Akaike (AIC) más bajo (1589.1, mientras que los otros modelos tenían AICs mayores a 1600) y la R^2 más alta (0.17, mientras los otros modelos tenían R^2 menores a 0.14); este modelo fue significativamente mejor en capturar los datos que todos los otros modelos y un modelo nulo ($\chi^2 = 33.75$, $p < 0.001$). El número de identificación de los participantes se excluyó del modelo dado que la R^2 marginal y la R^2 condicional eran iguales, indicando que no había influencia de los efectos aleatorios. Posteriormente, se utilizó la librería de emmeans para computar las medias marginales estimadas (EMMs) para las tres variables del modelo; se hicieron pruebas de pareja para cada variable con corrección de Bonferroni. Esto nos permitió distinguir si las preferencias de elección para las formas eran significativas y si había diferente desempeño entre perros y humanos.

Los efectos de sexo, edad, peso y otras variables de confusión se calcularon al modelar la respuesta en ensayos control, experimentales o todos los ensayos contra estas variables, usando el mismo GLM que previamente. Esto se realizó para discernir si las variables demográficas tenían un efecto en la elección.

Las latencias se analizaron por dos pruebas de Wilcoxon de parejas, una comparando las latencias de acuerdo con el tipo de condición (Control A, Control B o prueba), para descubrir si había cambios en el tiempo de respuesta según la condición, y otro comparando las latencias de acuerdo con la forma del estímulo en las condiciones control, para descubrir si la elección era más rápida o lenta según la forma presentada. Adicionalmente, se compararon latencias entre las especies usando un GLM de Gamma identidad que modelaba latencia contra tipo de ensayo, condición y especie, el cual nos permitió saber si una especie tenía una respuesta más rápida ante los ensayos.

6. Resultados

6.1 Condiciones control

Los perros eligieron la porción más grande de comida 65 de 112 veces (58%) en el Control A y 50 de 112 veces (44%) en el Control B. La Figura 9 presenta la proporción de elección por el estímulo de mayor área para todos los perros en los ensayos de ambos controles; en ninguno de los dos controles se superó el nivel del azar según las pruebas binomiales (Control A: $p = 0.08$; Control B: $p = 0.29$). Esto significa que los perros fueron incapaces de discriminar entre las dos áreas totales diferentes a nivel grupal, sin importar si la proporción entre los estímulos era menor (1:0.5) o mayor (1:0.67).

Sin embargo, la diferencia de desempeño entre condiciones control fue significativa según una prueba de Wilcoxon ($V = 168$; $p = 0.013$); esto también puede observarse en la Figura 9, en la que vemos que los perros seleccionaron la porción más grande más seguido en el Control A que en el Control B. Esta diferencia en desempeño indica que la proporción más pequeña (1:0.5) fue más fácil de discriminar que la más grande (1:0.67), aunque ninguna sobrepasara el nivel del azar a nivel grupal.

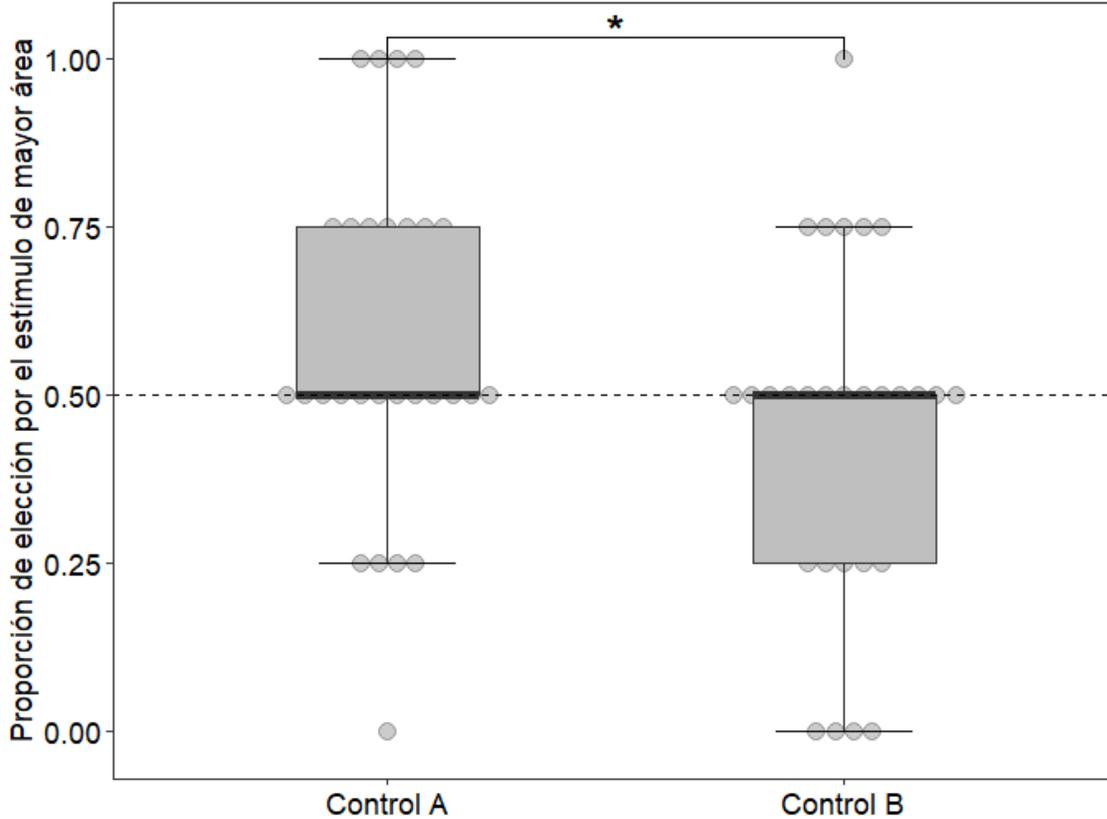


Figura 9. Proporción de elecciones por el estímulo de mayor área en los perros, para las condiciones Control A (1:0.5) y Control B (1:0.67). Esta gráfica representa la proporción de ensayos en que los perros ($n = 28$) escogieron la porción de comida más grande para cada control. La línea central de la caja indica la mediana de los datos. Los extremos de arriba y abajo de la caja indican los cuantiles 25 y 75. Los bigotes representan la varianza esperada de los datos (1.5 veces el rango intercuartil) y los puntos que se encuentran más allá de los bigotes son valores atípicos. Cada sujeto es representado con un círculo y la línea punteada indica el nivel del azar (0.5). Se aplicaron dos pruebas binomiales (una para cada control) comparando la proporción de elección por el estímulo más grande contra el azar, pero no fueron significativas, lo cual indica que los perros no discriminaron entre áreas para ninguno de los dos controles. * indica que $p \leq 0.05$ según la prueba de Wilcoxon comparando el desempeño entre los dos controles, lo cual significa que los perros escogieron la porción más grande más veces en el Control A que el Control B.

En la Figura 10 observamos que, considerando ambas condiciones, 12 de los 28 perros (42%) escogieron la porción de comida mayor más de 50% de los ensayos, 12 perros (42%) escogieron la porción pequeña más de 50% de los ensayos y cuatro perros (14%) escogieron la porción grande y la porción pequeña un mismo número de veces. Estas proporciones no fueron significativas según pruebas binomiales. Esto nos muestra que hay una variabilidad individual en nuestra población de perros, y que existen subgrupos de perros con diferente desempeño. Por ejemplo, cuatro perros (12%)

escogieron la porción mayor el 100% de las veces en el Control A, pero solamente uno de estos cuatro perros escogió la porción mayor el 100% de las veces en el Control B.

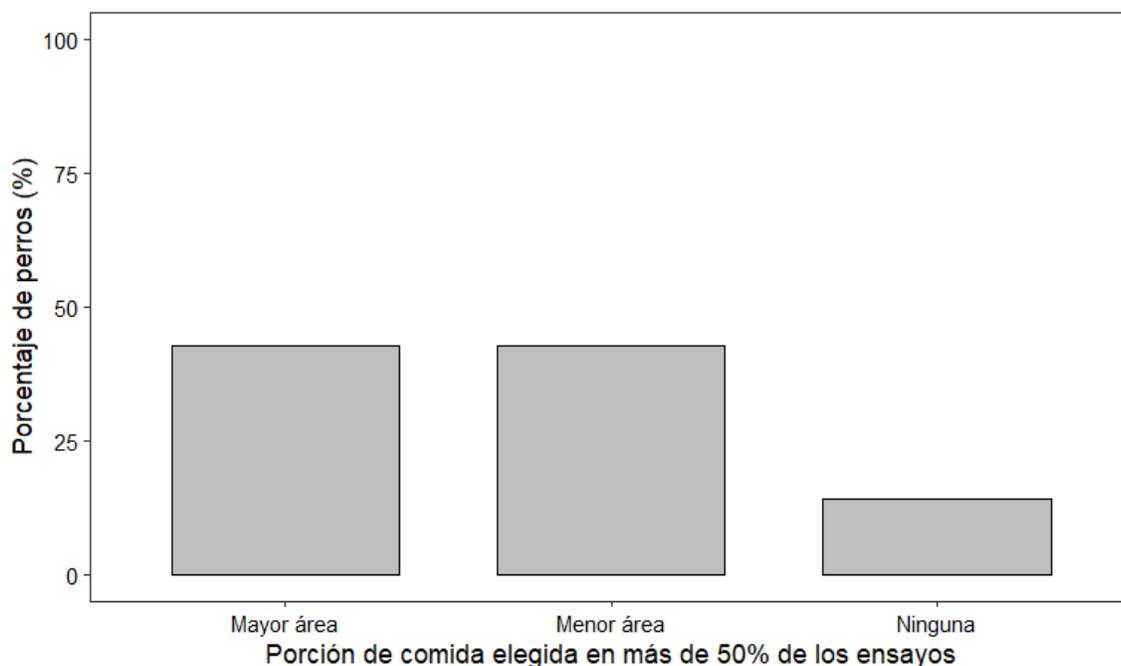


Figura 10. Porcentaje de perros de acuerdo con la porción de comida elegida en más de 50% de los ensayos, para ambas condiciones control. Esta gráfica representa el porcentaje de los perros ($n = 28$) que eligieron ciertas porciones (porción más grande o porción más pequeña) en más de la mitad de los ensayos. La etiqueta de “Ninguna” indica que el perro escogió el mismo número de veces la porción mayor y la porción menor a lo largo de los ensayos. El porcentaje de perros que eligió la mayor o menor porción no superó el nivel del azar, según las pruebas binomiales. Esto significa que hay variabilidad individual en el desempeño.

Por otro lado, los participantes humanos seleccionaron el estímulo más grande de forma muy significativa para ambos controles según las pruebas binomiales ($p < 0.001$ para ambos), como observamos en la Figura 11. Los sujetos tuvieron un desempeño casi perfecto en la tarea, dado que solamente presentaron 8 errores de 300 elecciones (0.03%) en el Control A y cuatro errores de 301 elecciones (0.01%) en el Control B. No se encontró una diferencia al comparar los porcentajes de elecciones correctas entre ambas condiciones control, según una prueba de Wilcoxon ($V = 1.5$; $p = 0.265$). Esto significa que el desempeño fue equivalente para ambas condiciones, lo cual también se puede visualizar en la Figura 11.

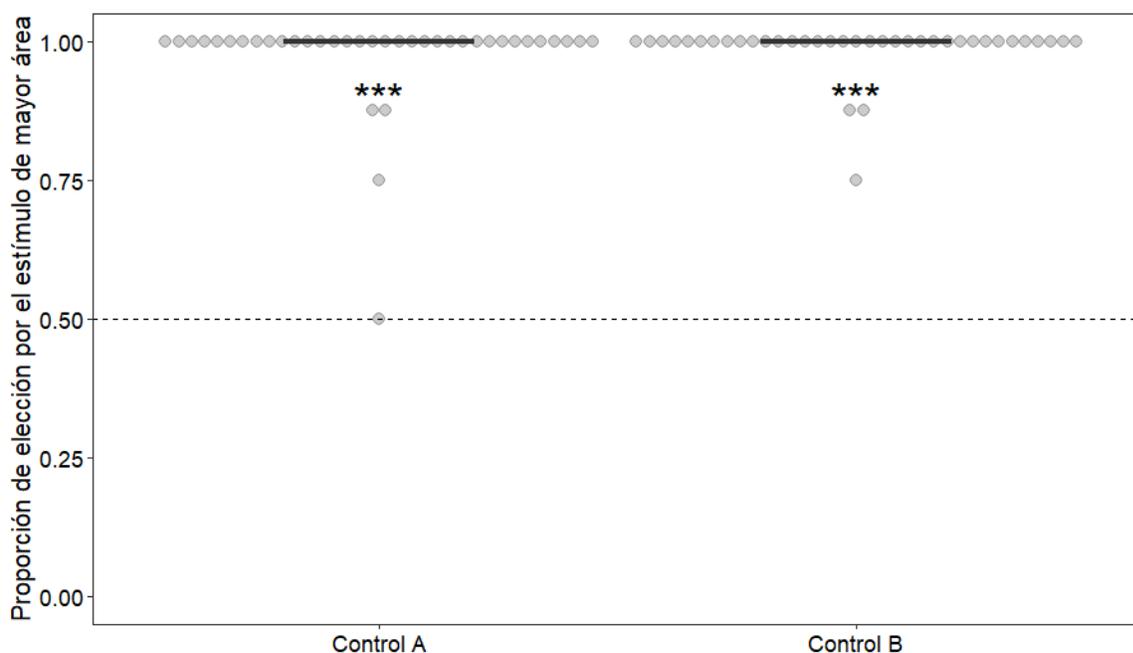


Figura 11. Proporción de elecciones por el estímulo de mayor área en los humanos, para las condiciones Control A (1:0.5) y Control B (1:0.67). Esta gráfica representa la proporción de ensayos en que los participantes humanos ($n = 38$) escogieron la imagen más grande para cada control. Cada sujeto es representado con un círculo y la línea punteada indica el nivel del azar (0.5). La línea oscura representa la mediana de los datos. Los datos se encuentran concentrados en 1.0, por lo que ambas cajas y sus bigotes se han comprimido a una sola línea y los puntos que se encuentran por debajo se consideran valores atípicos. *** indica que $p \leq 0.001$ según las pruebas binomiales realizadas para ambos controles de la proporción de elección del estímulo más grande contra el nivel del azar, lo cual significa que hubo un muy alto desempeño en el Control A y el Control B. La prueba de Wilcoxon comparando los dos controles no fue significativa, lo cual significa que ambos controles fueron de una alta facilidad para los sujetos.

Todos los participantes humanos escogieron la porción mayor más del 80% de las veces, con la excepción de un participante. 33 participantes completaron todos los ensayos correctamente. Esto nos indica que, a diferencia de los perros, los humanos no presentaron variabilidad individual. Hubo siete ensayos (0.01%) en los que las elecciones no fueron registradas por el programa, lo cual probablemente ocurrió porque el participante no contestó en el plazo de tiempo destinado o porque hubo una falla técnica.

Posteriormente, se separaron los ensayos de acuerdo con la forma del estímulo; la Figura 12 muestra la proporción de elección del área mayor según la forma para perros y humanos. En el caso de los perros, se observó que la elección de la porción mayor no superó el nivel del azar para ninguna de las formas según las pruebas binomiales (como se visualizó a nivel general) y que no hubo diferencias de desempeño entre las formas

según las pruebas de Wilcoxon. Esto nos indica que los perros no discriminaron más fácilmente alguna de las formas que las otras, sino que todas les resultaron complicadas de discriminar.

En el caso de los humanos, todas las formas superaron el nivel del azar según las pruebas binomiales ($p < 0.001$ para las cuatro formas), como se visualiza en la Figura 12; no se observó un efecto de la forma del control en el desempeño según la prueba de Wilcoxon, ya que se eligió el estímulo de mayor área casi el 100% de las veces para todas las formas. Esto sugiere que la forma del estímulo no modifica la dificultad de la discriminación de área en humanos.

La Figura 12 también nos señala que los participantes humanos escogieron el estímulo de mayor área más frecuentemente que los perros en los controles de todas las formas según las pruebas de Wilcoxon ($p < 0.001$ para las cuatro comparaciones). Dichos resultados muestran que los humanos tuvieron mejor desempeño en su discriminación de área que los perros para todas las formas.

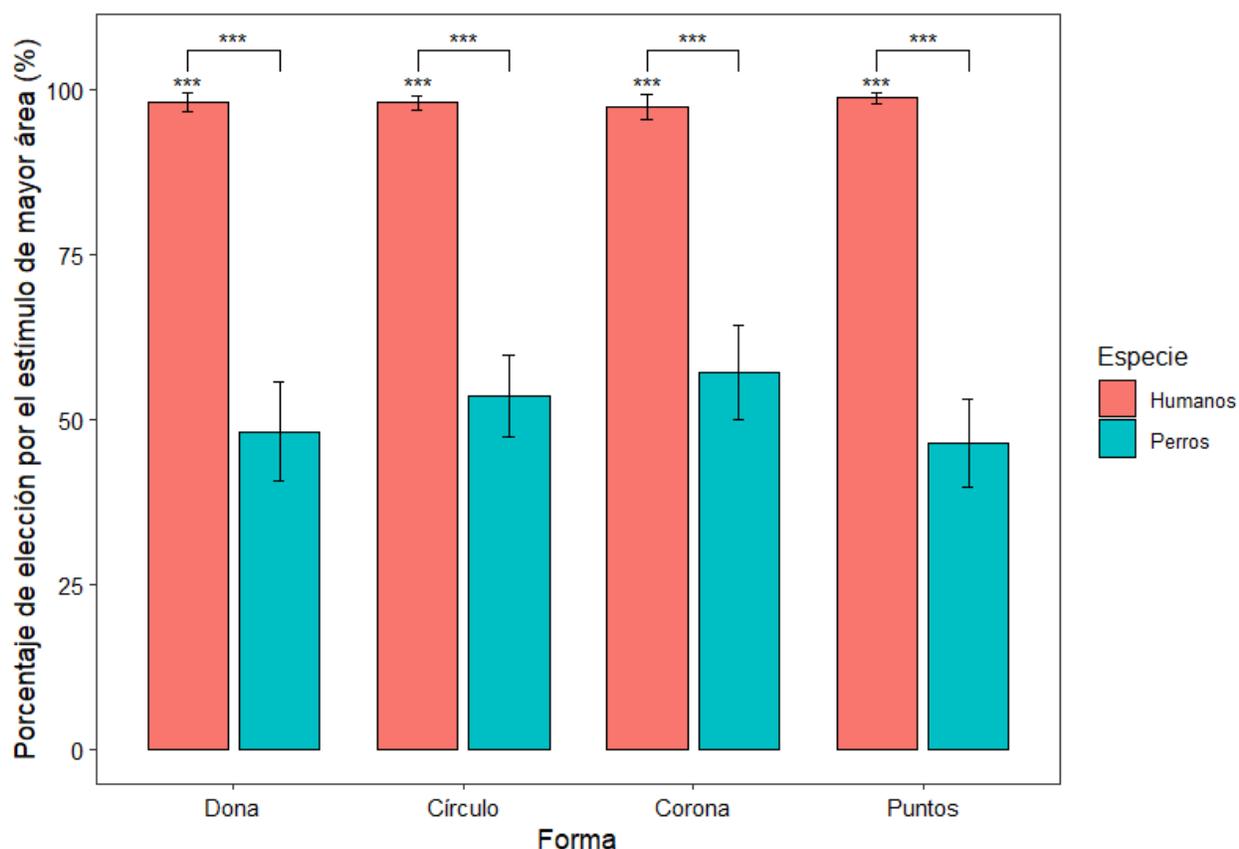


Figura 12. Porcentaje promedio de elecciones por el estímulo de mayor área en perros y humanos, para las condiciones control, separado de acuerdo con la forma del estímulo (Dona, Círculo, Corona y Puntos). Esta gráfica representa cuántas veces los perros (n = 28) y humanos (n = 38) eligieron el estímulo más grande para cada forma. Las barras de error representan el error estándar de la media. *** indica que $p \leq 0.001$ según las cuatro pruebas binomiales comparando la elección del estímulo mayor contra el azar para los humanos (no para los perros), lo cual indica que solamente los humanos tuvieron un desempeño bueno para todas las formas, y *** indica que $p \leq 0.001$ según las cuatro pruebas de Wilcoxon comparando el desempeño entre los perros y humanos para cada forma, lo cual significa que los humanos tuvieron un mejor desempeño que los perros en todas las formas de los controles.

Con estos datos, en relación a los objetivos del trabajo, corroboramos que los humanos son capaces de fácilmente discriminar estímulos en base a su área total (al menos para proporciones de 1:0.5 y 1:0.67), pero que los perros no pueden hacer esto de forma espontánea. Adicionalmente, observamos que hay mucha variabilidad intra-especie en la percepción de cantidades en los perros, pero que los humanos presentan un desempeño muy homogéneo, con elecciones correctas casi el 100% de las veces.

6.2 Condición experimental

6.2.1 Análisis descriptivo

A nivel individual, nueve perros siempre escogieron el círculo cuando este era una opción, cuatro siempre escogieron los puntos, dos siempre escogieron la corona y ninguno escogió la dona consistentemente. Esto nos indica que existen diferencias individuales en las preferencias de forma, siendo el círculo un estímulo más saliente que los otros tres.

La tabla 1 muestra el porcentaje promedio de veces que se seleccionó cada forma en cada combinación para todos los perros, y en qué casos el número de elecciones fue significativo. Estos porcentajes pueden visualizarse gráficamente en la Figura 13, donde observamos que los perros mostraron una preferencia del círculo por encima de la corona ($p < 0.001$) y del círculo por encima de la dona ($p = 0.012$) según las pruebas de Wilcoxon para cada tipo de ensayo experimental. Esto sugiere una preferencia por el círculo y un desagrado por la corona y la dona en la muestra de perros.

	Círculo	Dona	Puntos	Corona
Dona vs Corona		42.9%		57.1%
Dona vs Puntos		42.9%	57.1%	
Dona vs Círculo	71.4%	28.6%		
Círculo vs Corona	78.6%			21.4%
Círculo vs Puntos	50%		50%	
Corona vs Puntos			50%	50%

Tabla 1. Porcentajes promedio de elección de los perros para cada forma en los ensayos experimentales, de acuerdo con la combinación de formas presentadas (Dona vs Corona, Dona vs Puntos, Dona vs Círculo, Círculo vs Corona, Círculo vs Puntos, Corona vs Puntos). Esta tabla muestra el porcentaje de veces que cada forma fue elegida por los perros ($n = 28$) en cada comparación. Las comparaciones significativas (Círculo por encima de Dona y Círculo por encima de Corona) según las pruebas de Wilcoxon están marcadas en color rojo.

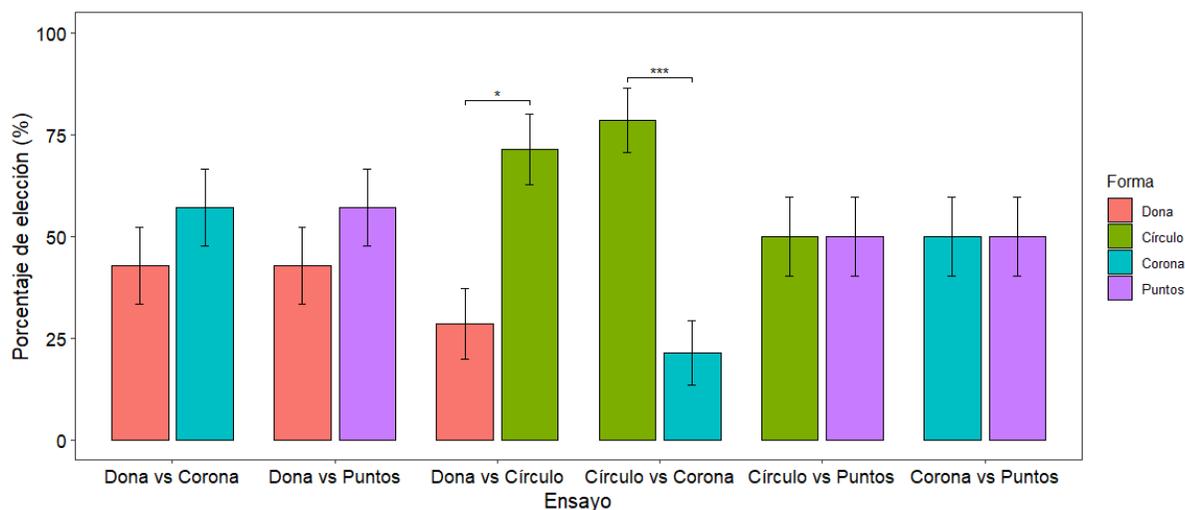


Figura 13. Porcentajes promedio de elección de los perros para cada forma en los ensayos experimentales, de acuerdo con la combinación de formas presentadas (Dona vs Corona, Dona vs Puntos, Dona vs Círculo, Círculo vs Corona, Círculo vs Puntos, Corona vs Puntos). Esta gráfica representa el porcentaje de ensayos en los que se eligió cada forma ($n = 28$). Las barras de error representan el error estándar de la media. *** indica que $p \leq 0.001$ y * indica que $p \leq 0.05$ para las pruebas de Wilcoxon comparando la elección de las dos formas en cada tipo de ensayo. Se observa una preferencia por el círculo y un desagrado por la dona y la corona.

Se analizaron por separado las respuestas de los cuatro perros que tuvieron un desempeño perfecto en el Control A. En total, estos perros eligieron el círculo y los puntos siete de las 12 veces en los que dichas formas eran una opción, eligieron la dona seis de 12 veces y la corona cuatro de 12 veces. Eligieron el círculo por encima de la corona y la dona, los puntos por encima del círculo y la corona, y la dona por encima de los puntos. Esto parece apoyar la preferencia por el círculo y el desagrado por la corona que se observa a nivel de toda la muestra, pero sugiere también una preferencia por las formas de dona y puntos en algunos perros. Nuevamente, esto apunta a una alta variabilidad intra-especie al elegir entre estímulos con diferentes magnitudes. Sin embargo, este subgrupo es demasiado reducido para extraer conclusiones definitivas sobre estos resultados.

En los humanos, a nivel individual, 23 participantes escogieron el círculo más de 50% de las veces en que este era una opción, 25 escogieron la corona más de 50% de las veces, 12 escogieron los puntos más de 50% de las veces y dos escogieron la dona más de 50% de las veces. Esto indica que existen diferencias individuales marcadas en la

percepción de área para los humanos; la corona y el círculo fueron estímulos más salientes que los puntos y la dona fue un estímulo muy poco escogido.

La tabla 2 muestra el porcentaje promedio de veces que se seleccionó cada forma en cada combinación para todos los participantes humanos, y en qué casos el número de elecciones fue significativo. Estos porcentajes pueden visualizarse gráficamente en la Figura 14, donde observamos que los humanos mostraron una preferencia del círculo por encima de la dona ($p < 0.001$), de la corona por encima de la dona ($p < 0.001$), de los puntos por encima de la dona ($p < 0.001$) y del círculo por encima de los puntos ($p = 0.006$) según las pruebas de Wilcoxon para cada tipo de ensayo experimental. Dichos resultados sugieren una percepción del círculo, la corona y los puntos como formas de mayor área que la dona.

	Círculo	Dona	Puntos	Corona
Dona vs Corona		27.6%		72.4%
Dona vs Puntos		26.3%	73.7%	
Dona vs Círculo	82.7%	17.3%		
Círculo vs Corona	46.1%			53.9%
Círculo vs Puntos	63.2%		36.8%	
Corona vs Puntos			48.6%	51.4%

Tabla 2. Porcentajes promedio de elección de los humanos para cada forma en los ensayos experimentales, de acuerdo con la combinación de formas presentada (Dona vs Corona, Dona vs Puntos, Dona vs Círculo, Círculo vs Corona, Círculo vs Puntos, Corona vs Puntos). Esta tabla muestra el porcentaje de veces que cada forma fue elegida por los humanos ($n = 38$) en cada comparación. Las comparaciones significativas (Círculo por encima de Dona, Círculo por encima de Puntos, Corona por encima de Dona, Puntos por encima de Dona) según las pruebas de Wilcoxon están marcadas en color rojo.

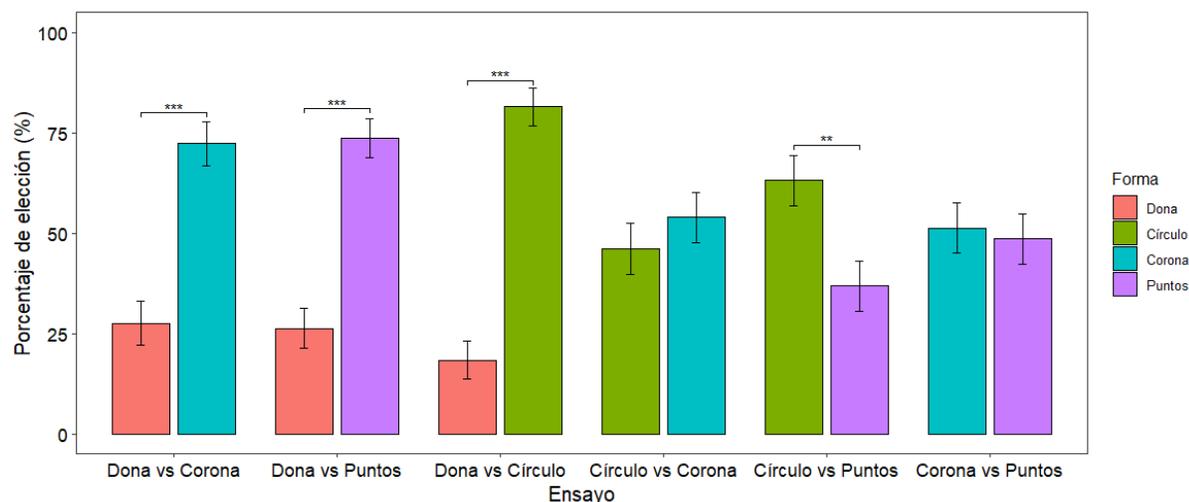


Figura 14. Porcentajes promedio de elección de los humanos para cada forma en los ensayos experimentales, de acuerdo con la combinación de formas presentadas (Dona vs Corona, Dona vs Puntos, Dona vs Círculo, Círculo vs Corona, Círculo vs Puntos, Corona vs Puntos). Esta gráfica representa el porcentaje de ensayos en los que se eligió cada forma entre todos los humanos ($n = 38$). Las barras de error representan el error estándar de la media. *** indica que $p \leq 0.001$ y ** indica que $p \leq 0.01$ para las pruebas de Wilcoxon comparando la elección de las dos formas en cada tipo de ensayo. Se observa una preferencia muy marcada por el círculo, y un desagrado por la dona contra todas las otras formas..

6.2.2 Modelado

El modelo logístico confirmó que la forma sí tenía un efecto significativo en la elección de los perros, y comparaciones post-hoc revelaron que se escogía más frecuentemente el círculo por encima de la corona ($z = 3.99$; $p = 0.002$), como observamos en la Figura 15. Sin embargo, la preferencia de círculo por encima de dona—previamente observada con la prueba de Wilcoxon—no fue significativa con el modelo. Estos resultados sugieren que la preferencia por el círculo y el desagrado por la corona que observamos a nivel individual y general es relevante.

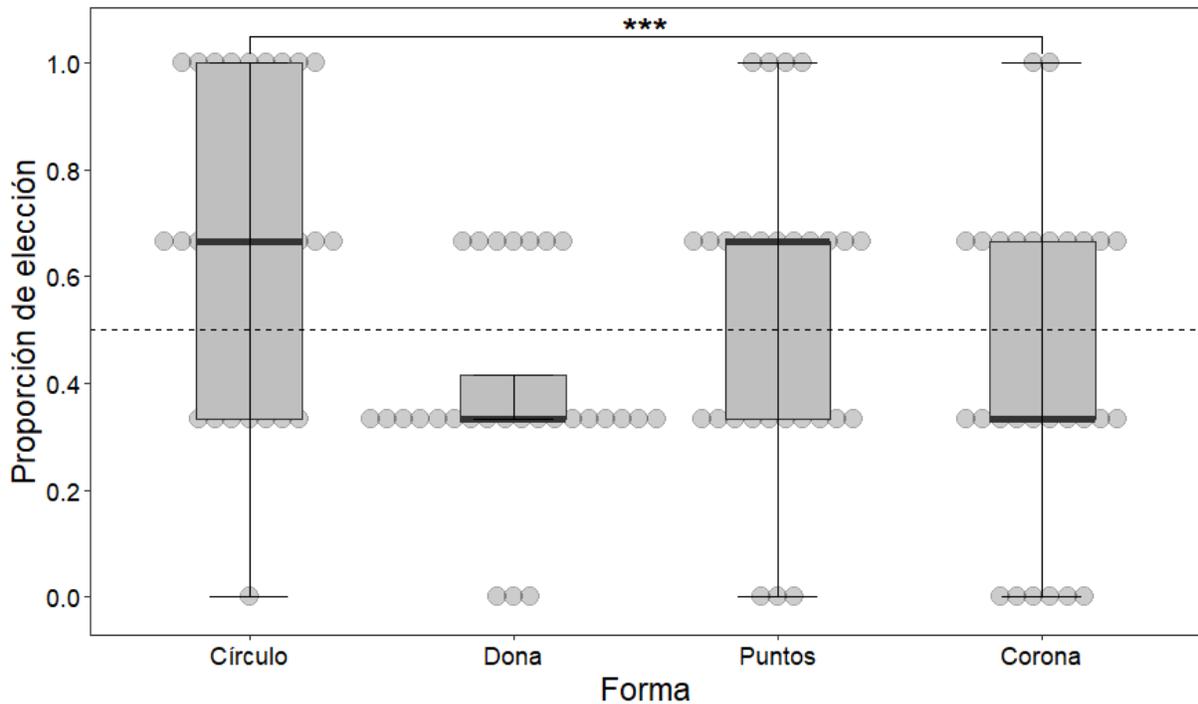


Figura 15. Proporción de elección para cada forma (Círculo, Dona, Puntos y Corona) para los perros a través de todos los ensayos experimentales. Esta gráfica representa la proporción de ensayos en que los perros ($n = 28$) escogieron cada forma. La línea central de la caja indica la mediana de los datos. Los extremos de arriba y abajo de la caja indican los cuantiles 25 y 75. Los bigotes representan la varianza esperada de los datos (1.5 veces el rango intercuartil) y los puntos que se encuentran más allá de los bigotes son valores atípicos. Cada sujeto es representado con un círculo y la línea punteada indica el nivel del azar (0.5). *** indica que $p \leq 0.001$ según las comparaciones de emmeans entre formas para el modelo lineal construido, lo cual significa que hay una preferencia significativa por el círculo cuando se compara contra la corona.

En el caso de los humanos, también se confirmó el efecto de la forma en la decisión por medio del modelo, y las comparaciones mostraron una proporción mayor de elección del círculo por encima de la dona ($z = 7.24$; $p < 0.001$), la corona por encima de la dona ($z = 5.3$; $p < 0.001$), los puntos por encima de la dona ($z = 5.59$; $p < 0.001$) y el círculo por encima de los puntos ($z = 3.2$; $p = 0.04$); dichas diferencias en elección pueden apreciarse en la Figura 16. Estos resultados refuerzan que todas las formas son elegidas por encima de la dona y que el círculo y la corona son elegidos en igual proporción.

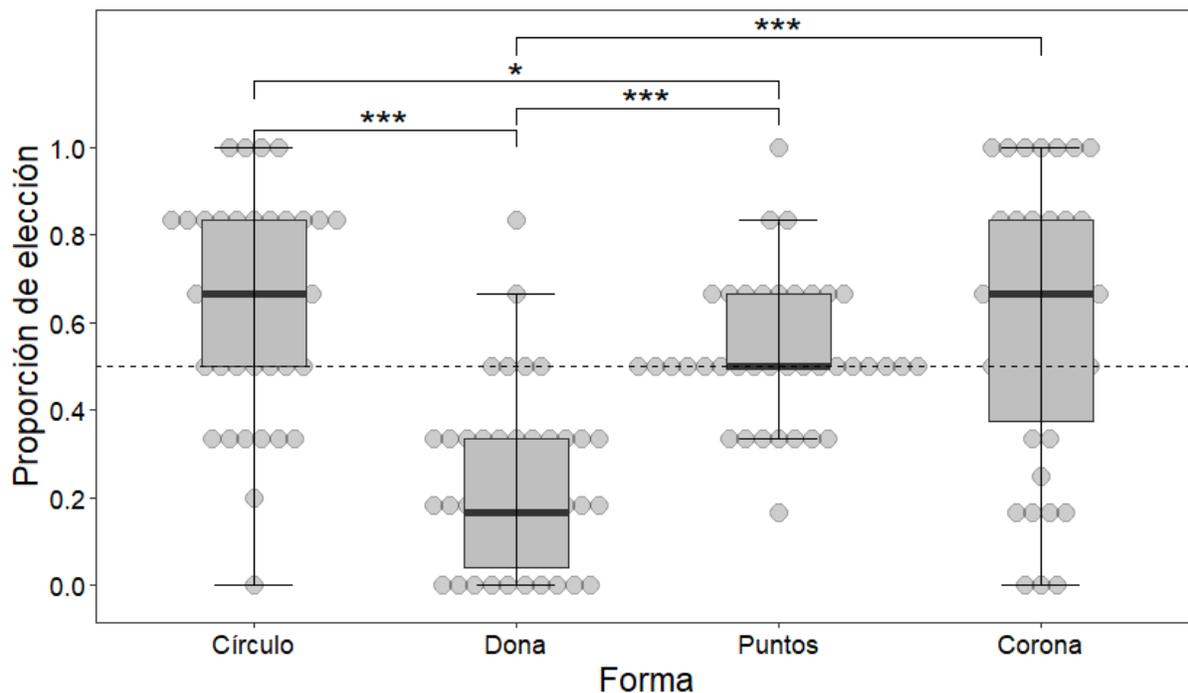


Figura 16. Proporción de elección para cada forma (Círculo, Dona, Puntos y Corona) para los humanos a través de todos los ensayos experimentales. Esta gráfica representa la proporción de ensayos en que los humanos ($n = 38$) escogieron cada forma. La línea central de la caja indica la mediana de los datos. Los extremos de arriba y abajo de la caja indican los cuantiles 25 y 75. Los bigotes representan la varianza esperada de los datos (1.5 veces el rango intercuartil) y los puntos que se encuentran más allá de los bigotes son valores atípicos. Cada sujeto es representado con un círculo y la línea punteada indica el nivel del azar (0.5). * indica que $p \leq 0.05$ y *** indica que $p \leq 0.001$ según las comparaciones de emmeans entre formas para el modelo lineal construido, lo cual significa que hay una preferencia significativa por cualquier otra forma cuando se compara contra la corona y una preferencia similar entre círculo y corona.

Al comparar entre las dos especies, el modelo remarca que los perros escogieron la corona menos que los humanos ($z = -2.56$, $p = 0.041$), como se visualiza en la Figura 17. Esto concuerda con los resultados de cada especie, ya que observamos que los humanos tienen una preferencia por la corona mientras que los perros muestran desagrado por esta forma. En los ensayos en que se comparaba la dona contra el círculo, los perros escogieron el círculo con mayor frecuencia que los humanos ($z = 4.78$, $p = 0.001$), lo cual sugiere una preferencia más marcada por el círculo en perros que en humanos, quienes muestran mayor variabilidad individual.

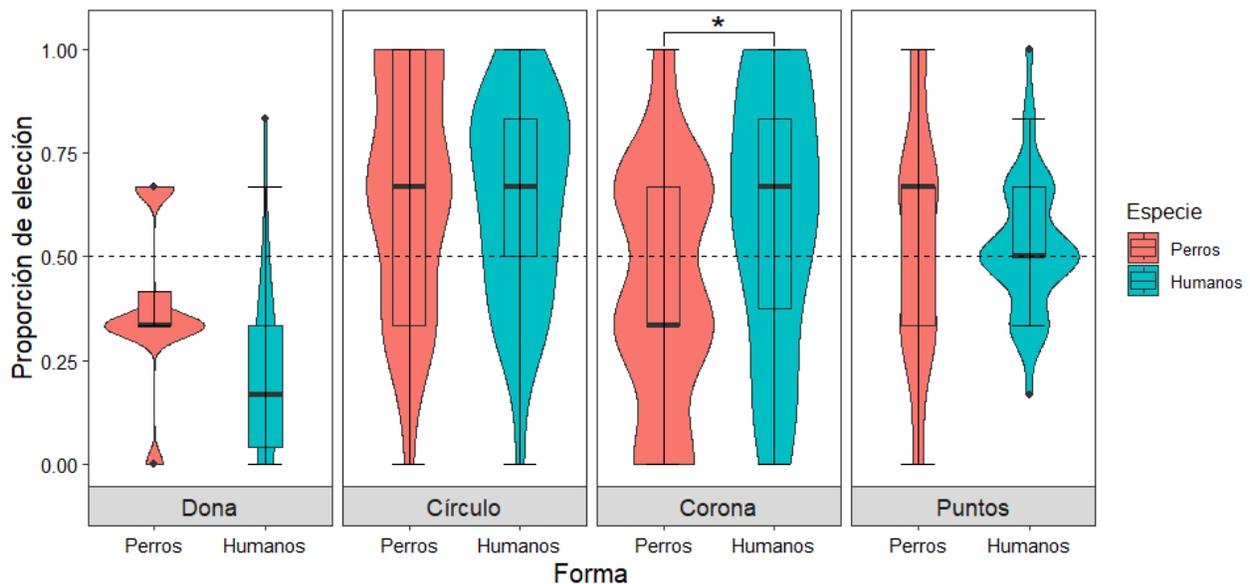


Figura 17. Proporción de elección para cada forma (Círculo, Dona, Puntos y Corona) a través de todos los ensayos experimentales, comparando entre perros y humanos. Esta gráfica representa cuántas veces los sujetos perros ($n = 28$) y humanos ($n = 38$) eligieron cada una de las formas. La línea central de la caja indica la mediana de los datos. Los extremos de arriba y abajo de la caja indican los cuantiles 25 y 75. Los bigotes representan la varianza esperada de los datos (1.5 veces el rango intercuartil) y los puntos que se encuentran más allá de los bigotes son valores atípicos. El ancho del violín indica la densidad o frecuencia de los datos, tomando en cuenta valores atípicos. La línea punteada indica el nivel del azar (0.5). * indica que $p \leq 0.05$ según las comparaciones de emmeans entre especies para el modelo lineal construido, lo cual significa que la corona fue elegida más por los humanos que por los perros.

Con estos datos, en relación a los objetivos del trabajo, identificamos que existen preferencias generalizadas ante estímulos con ciertas magnitudes para ambas especies. En el caso de los perros, hubo una preferencia por la forma de mayor área individual y menor numerosidad (Círculo) sobre la forma de mayor numerosidad y menor área individual (Corona). Por otro lado, los humanos mostraron una preferencia tanto por formas con alta área individual (Círculo) como por formas con alta numerosidad (Corona). Además, hubo un desagrado generalizado por la dona contra todas las otras formas. Aun así, ambas especies mostraron variabilidad en las elecciones, lo cual podemos observar en las decisiones individuales.

6.3 Latencias

En el caso de los perros, se definió latencia como el tiempo transcurrido entre el momento en que el animal fue liberado por el dueño y el momento en que el animal realizó una elección, es, decir, llegó a uno de los platos y manipuló la comida (lamer, comer o tocar). La Figura 18 muestra la latencia media de elección de los perros de acuerdo con el tipo de condición: 2.87 ± 1.54 s para el Control A, 2.75 ± 1.76 s para el Control B y 2.68 ± 1.31 s para la condición experimental. El tipo de condición no influyó en la latencia, lo cual significa que el tiempo de elección fue equivalente para las tres condiciones y que los perros no presentaron mayores dificultades en una condición que en las otras.

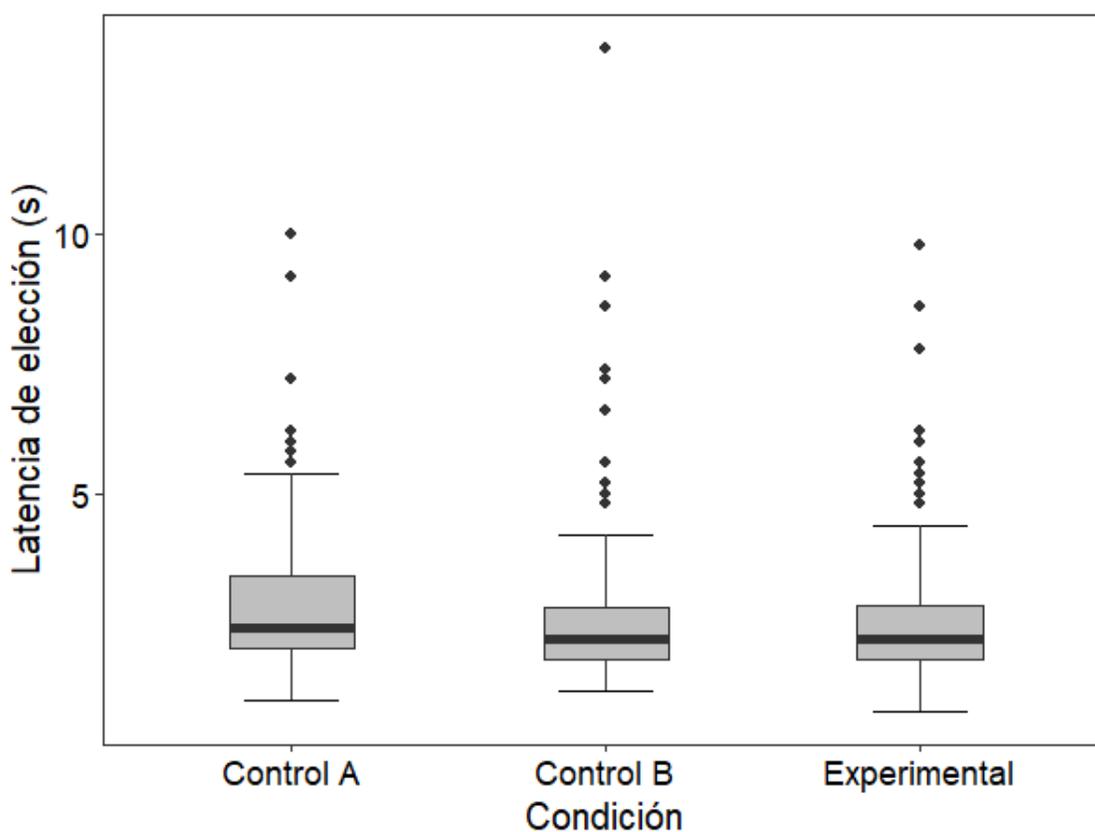


Figura 18. Latencia de elección en segundos para cada condición (Control A, Control B y Experimental) para los perros. Esta gráfica representa el tiempo de elección de los perros ($n = 28$) según el tipo de ensayo. La línea central de la caja indica la mediana de los datos. Los extremos de arriba y abajo de la caja indican los cuantiles 25 y 75. Los bigotes representan la varianza esperada de los datos (1.5 veces el rango intercuartil) y los puntos que se encuentran más allá de los bigotes son valores atípicos. No hubo diferencias significativas en la latencia entre condiciones según una prueba de Wilcoxon, lo cual significa que el tiempo de elección fue equivalente en las tres condiciones.

La Figura 19 muestra la latencia media de elección de acuerdo con la forma de los estímulos presentados en los ensayos control: círculo - $2.56 \text{ s} \pm 1.41 \text{ s}$; dona - $3.03 \pm 1.67 \text{ s}$; puntos $2.79 \pm 2.16 \text{ s}$; y corona $2.73 \pm 1.09 \text{ s}$. Este factor tampoco influyó en la latencia según la prueba de Wilcoxon, lo cual significa que los perros tardaron un tiempo equivalente en resolver los controles de diferentes formas.

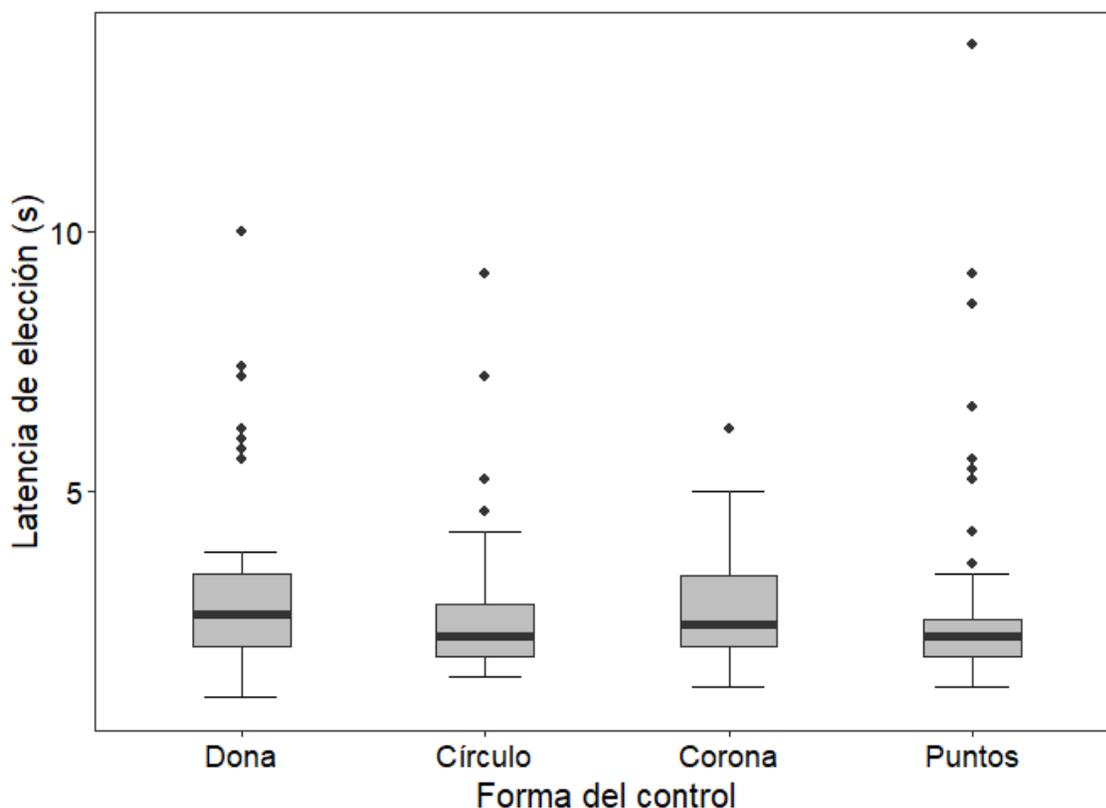


Figura 19. Latencia de elección en segundos para cada forma del estímulo (Dona, Círculo, Corona y Puntos) en ambos controles para los perros. Esta gráfica representa el tiempo de elección de los perros ($n = 28$) según la forma del control. La línea central de la caja indica la mediana de los datos. Los extremos de arriba y abajo de la caja indican los cuantiles 25 y 75. Los bigotes representan la varianza esperada de los datos (1.5 veces el rango intercuartil) y los puntos que se encuentran más allá de los bigotes son valores atípicos. No hubo diferencias significativas en latencia entre las diferentes formas de los controles según una prueba de Wilcoxon, lo cual significa que todos los controles se resolvieron en tiempos similares sin importar su forma.

Para los humanos, se definió latencia como el tiempo transcurrido entre el momento en que ambas formas aparecieron en la pantalla y el momento en que el participante hizo click con el ratón en una de las formas. La Figura 20 muestra la latencia media de elección de los humanos de acuerdo con el tipo de condición: $1.21 \pm 1.1 \text{ s}$ para el Control A, 1.21

± 0.66 s para el Control B y 1.98 ± 1.15 s para la condición experimental. En dicha figura podemos observar que la latencia en los ensayos experimentales fue significativamente mayor que en ambos controles según la prueba de Wilcoxon ($p < 0.001$), pero que no hubo diferencias entre ambas condiciones control. Esto sugiere que la dificultad de los controles fue equivalente para los sujetos aunque las proporciones fueran diferentes, pero que la elección en la condición experimental resultó más difícil y consumió más recursos de procesamiento.

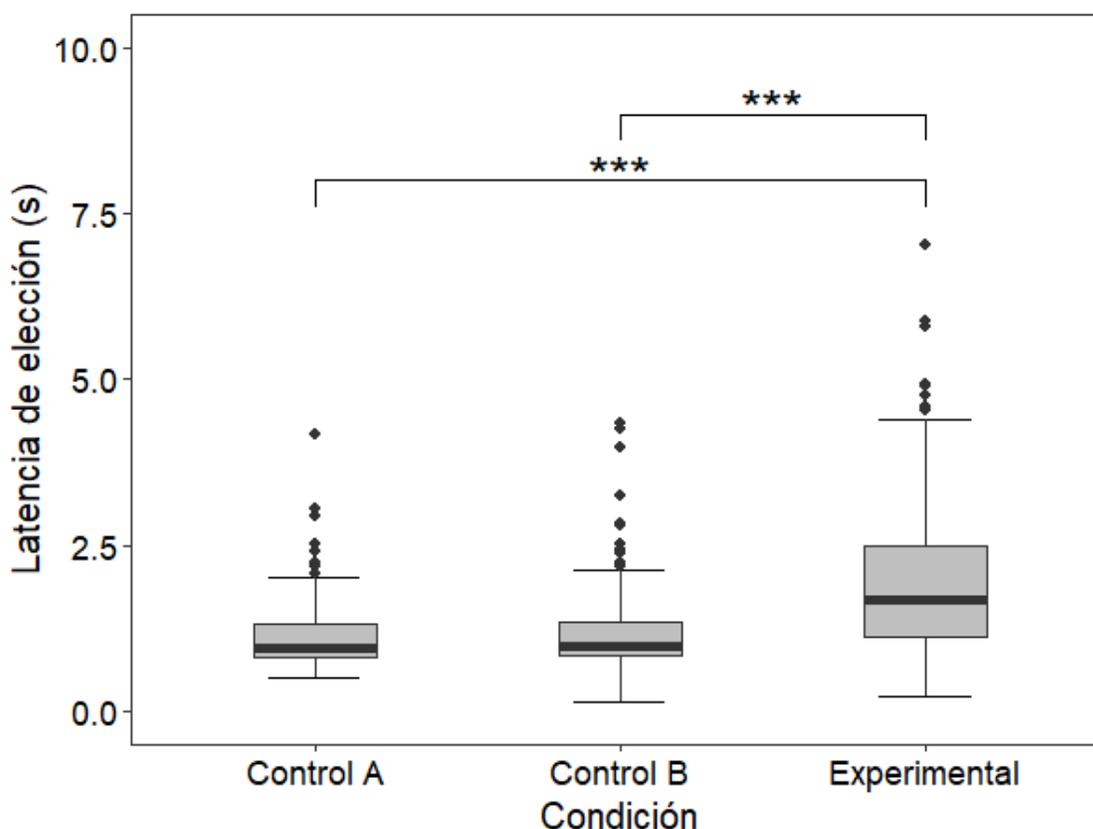


Figura 20. Latencia de elección en segundos para cada condición (Control A, Control B y Experimental) para los humanos. Esta gráfica representa el tiempo de elección de los humanos ($n = 38$) según el tipo de ensayo. La línea central de la caja indica la mediana de los datos. Los extremos de arriba y abajo de la caja indican los cuantiles 25 y 75. Los bigotes representan la varianza esperada de los datos (1.5 veces el rango intercuartil) y los puntos que se encuentran más allá de los bigotes son valores atípicos. *** indica que $p \leq 0.001$ según la prueba de Wilcoxon comparando la latencia promedio entre las condiciones, lo cual significa que el tiempo de reacción en la condición experimental fue mucho más lento que en ambas condiciones control.

En las condiciones control, la latencia fue menor al comparar entre círculos de diferentes tamaños ($media_{A+B} = 0.97$ s ± 0.41) que para ensayos con las otras formas:

corona ($media_{A+B} = 1.47 \pm 1.48$ s, $p < 0.001$); dona ($media_{A+B} = 1.17 \pm 0.45$ s, $p = 0.003$); y puntos ($media_{A+B} = 1.22 \pm 0.78$ s, $p = 0.01$), como se muestra en la Figura 21. Esto señala que los humanos tuvieron mayor velocidad de procesamiento y elección cuando los estímulos eran círculos, indicando que es más fácil estimar el área de esta forma que de las otras tres.

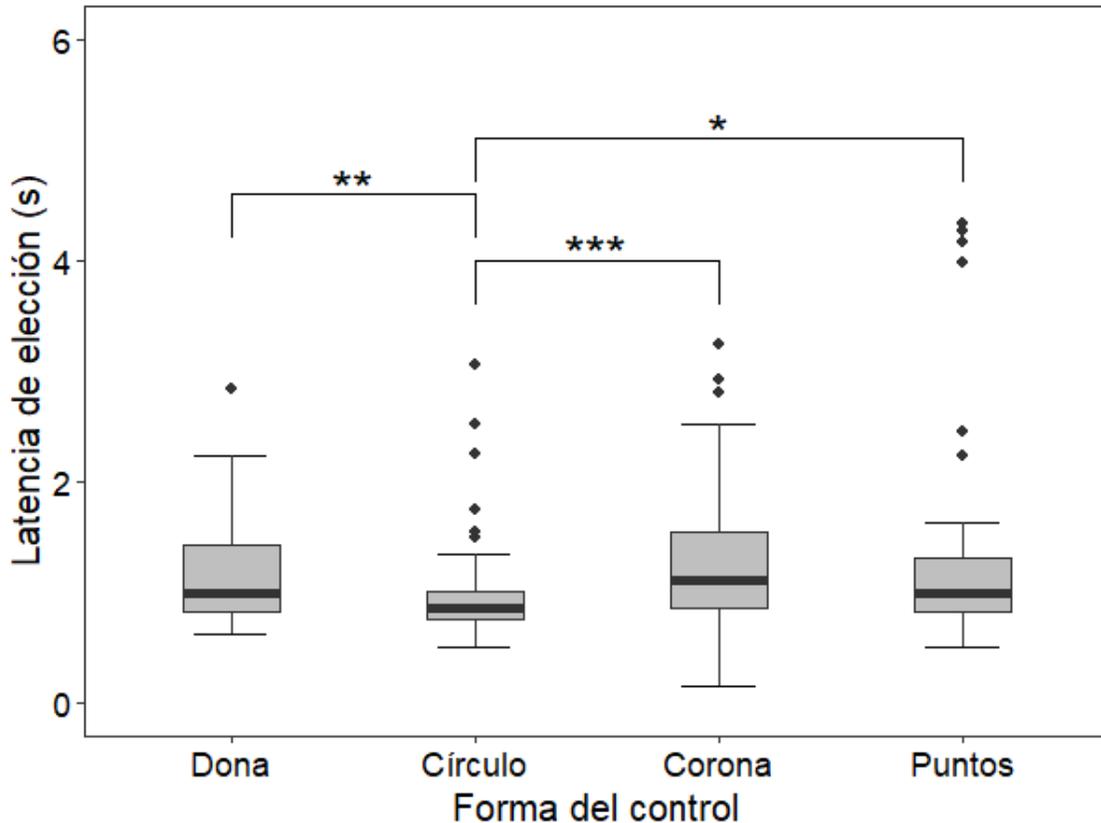


Figura 21. Latencia de elección en segundos para cada forma del estímulo (Dona, Círculo, Corona y Puntos) en ambos controles para los humanos. Esta gráfica representa el tiempo de elección de los humanos según la forma del control. La línea central de la caja indica la mediana de los datos. Los extremos de arriba y abajo de la caja indican los cuantiles 25 y 75. Los bigotes representan la varianza esperada de los datos (1.5 veces el rango intercuartil) y los puntos que se encuentran más allá de los bigotes son valores atípicos. *** indica que $p \leq 0.001$, ** indica que $p \leq 0.01$ y * indica que $p \leq 0.05$ según la prueba de Wilcoxon comparando la latencia promedio entre las formas del estímulo en los controles, lo cual significa que se hicieron elecciones más rápidas cuando los estímulos eran dos círculos de diferente tamaño.

Para la comparación inter-especie, el modelo mostró diferencias significativas entre la latencia de elección de las especies, con los valores de los participantes humanos siendo mucho menores que los de los perros ($z = -6.11$, $p < 0.001$).

6.4 Variables demográficas

No encontramos efectos significativos de las variables demográficas (edad y sexo para humanos; edad, peso y entrenamiento para los perros), excepto por un efecto del sexo en perros, con los machos escogiendo la porción mayor más frecuentemente que las hembras en las condiciones control ($z = 2.236$; $p = 0.025$). Para más detalles de las variables demográficas, estos se encuentran en el Anexo 1.1.

6.5 Resumen de resultados y cumplimiento de objetivos

En el presente estudio, corroboramos que los humanos, pero no los perros, son capaces de discriminar estímulos en base a su área total de forma espontánea. Los perros no diferenciaron entre cantidades con diferente área total en el Control A o en el Control B, es decir, no se observó una discriminación de área para estímulos con proporciones 1:0.5 o 1:0.67. Sin embargo, presentaron una mayor elección de la porción más grande en el Control A, lo cual significa que una menor proporción (1:0.5) es más fácil de diferenciar que una mayor proporción (1:0.67) para los perros.

Por otro lado, encontramos que los participantes humanos elegían consistentemente la opción más grande para ambas condiciones control, con un desempeño casi perfecto y equivalente sin importar la proporción entre los estímulos o la forma del control. Comparar el desempeño entre los humanos y su especie de compañía preferida resalta la alta capacidad de discriminación de cantidades en humanos y las deficiencias cognitivas que presentan los perros en comparación.

En el caso de la condición experimental, identificamos que existen preferencias generalizadas ante estímulos con cierta numerosidad o área individual de sus componentes, dado que tanto perros como humanos escogieron algunas formas con mayor frecuencia. Los perros eligieron el círculo por encima de la corona, por lo que parecen guiarse por el área individual para su elección, mientras que los humanos eligieron el círculo y la corona en igual medida, por lo que parecen guiarse tanto por el

área individual como la numerosidad al tomar decisiones. Igualmente, presentan un desagrado por la dona, que es un estímulo de mayor complejidad visual.

Adicionalmente, observamos una alta variabilidad intra-especie para ambas especies en la condición experimental y para los perros en la condición control. En términos de los tiempos de reacción, las latencias de los perros fueron equivalentes en todas las condiciones, mientras que los humanos fueron más veloces en los controles, particularmente en aquellos que eran entre círculos de diferentes áreas. Esto nos sugiere que hay variabilidad interespecie en la percepción de cantidades de acuerdo con los cambios en las magnitudes discretas y continuas de los estímulos

7. Discusión

Los perros no mostraron una preferencia significativa por la porción de comida de mayor área total en ninguno de los dos controles, incluso al separar los ensayos de acuerdo con la forma. Estudios previos muestran que los perros son capaces de discriminar espontáneamente entre cantidades de comida con proporciones menores a 1:0.67 (Lööke et al., 2020; Miletto Petrazzini & Wynne, 2016), pero no logramos replicar estos resultados. En 2021, el grupo de estudio de Becker utilizó un paradigma similar al presentado en este trabajo, e igualmente encontraron una elección azarosa en controles con proporción 1:0.66. Ellos proponen que estos resultados pueden explicarse por dos factores: a) el hambre no fue un motivador suficiente para escoger la cantidad mayor de comida dado que los perros vienen de hogares donde se los alimenta bien y frecuentemente; y b) es probable que hayan aprendido que iban a recibir una recompensa sin importar lo que escogieran en los ensayos (Becker et al., 2021). Las tareas de selección espontánea requieren la suposición de que el animal preferirá la cantidad mayor por encima de la cantidad menor de comida, pero es probable que el objetivo de la tarea sea poco claro si siempre reciben beneficios simplemente por elegir. Se ha visto que los perros son altamente sensibles a los resultados de sus experiencias anteriores y la retroalimentación humana no intencional, y que ajustan su comportamiento en base a estas, incluso tras un solo ensayo (Simona et al., 2021)

Incluso en experimentos que incluyen una fase de entrenamiento, hay una gran proporción de perros que no cumplen con los criterios de discriminación de cantidades necesarios para completar las pruebas (Lööke et al., 2020; Lööke et al., 2021; Range et al., 2014). En Range et al., (2014), cuatro de 13 perros no pudieron discriminar entre una y cuatro piezas de comida, a pesar de que la proporción de esta comparación es 1:4, y el desempeño después del entrenamiento solamente superó el nivel del azar para proporciones de 0.5 o menos. Los experimentos realizados por Lööke y compañeros en 2020 y 2021 mostraron que 14 de 29 perros no fueron capaces de escoger el estímulo mayor incluso después de 60 ensayos de entrenamiento, y que 15 de 35 perros no

podieron escoger un plato con rebanadas de salchicha por encima de un plato con pegatinas azules de manera consistente.

Estos resultados parecen indicar que ni el entrenamiento—con la asociación repetida de la opción correcta y la recompensa—ni la elección espontánea pueden asegurar que todos los perros escojan las porciones más grandes con una mayor frecuencia, ya sea por una motivación menor por el alimento o por tener habilidades cognitivas menos desarrolladas. Esto coincide con lo visto a nivel individual, con cuatro perros logrando escoger la porción mayor el 100% de las veces en el Control A aunque no se viera un efecto a nivel grupal. Además, cabe recalcar que se observó un mejor desempeño en el Control A, que presenta una proporción más fácil (1:0.5), que en el Control B (1:0.67), lo cual sugiere que hay perros que sí realizan distinciones entre áreas y cuya discriminación visual sigue la ley de Weber. Debemos considerar las implicaciones de que la mayoría de las pruebas de ilusiones visuales y discriminación de cantidades se realicen en una muestra pequeña y altamente seleccionada; escoger los miembros más calificados o entrenables de una especie no es representativo de toda la población y hay que examinar cada caso antes de hacer generalizaciones.

Otra posibilidad es que los perros tienen un problema de control inhibitorio y fueron demasiado impulsivos para revisar ambas opciones cuidadosamente. Actualmente, se cree que entre 12 y 20% de los perros presentan niveles naturalmente altos de hiperactividad/impulsividad y/o inatención, y que estas características son moduladas por factores similares que los que median el Trastorno de Déficit de Atención e Hiperactividad (TDAH) en humanos (Sulkama, 2021). Sin embargo, aunque existe la posibilidad de que algunos de los perros de la muestra fueran más impulsivos e inatentos, esta justificación no es muy lógica porque los perros sí discriminaron a nivel grupal entre las distintas figuras en los ensayos de ilusión. El círculo, que es una pieza grande individual, se prefirió por encima de la corona.

Por lo tanto, podríamos pensar que lo que es más importante para los perros a la hora de escoger no es el área total sino el área individual o la numerosidad de los estímulos, propiedades que en este caso están inversamente relacionadas (a mayor numerosidad, menor era el área individual de los estímulos). Debido a la falta de resultados significativos en los controles, no podemos asegurar que esto se debe a que los perros perciben esta forma como mayor a las otras. Esta preferencia podría explicarse por el estilo de vida y fondo ecológico de los perros como animales que viven en manadas: una pieza grande de comida es más fácil de proteger de congéneres y de consumir rápidamente que un grupo de muchas piezas pequeñas. Los perros, al igual que los chimpancés (Beran et al., 2008), parecen ser una especie que prefiere escoger el grupo que tiene el ítem más grande aunque tenga una menor cantidad de ítems. El grupo de investigación de Beran (2008) propone que esta conducta puede reflejar una toma de decisiones basada en atajos sensoriales que producen un resultado positivo, sin necesidad de utilizar toda la información disponible y permitiendo una respuesta más rápida. Al momento del forrajeo, la pista visual más útil para un perro podría ser la pieza de mayor tamaño.

La falta de efectos de variables demográficas en las dos especies parece indicar un desempeño relativamente homogéneo a través de las muestras. Sin embargo, encontramos una diferencia significativa del sexo en perros, con los machos escogiendo la porción de comida más grande más veces que las hembras en las condiciones control. Una explicación posible para esta diferencia es que los perros machos en nuestra muestra eran más pesados (media 25.6 ± 7.56 kg) que las hembras (media 21.5 ± 8.86 kg), diferencia que puede observarse en la figura S2 del Anexo 1.1, y por lo tanto más motivados por la comida; no obstante, esta diferencia no fue estadísticamente significativa.

En el caso de los humanos, pudieron escoger el estímulo más grande en las condiciones de control sin problema; esto no es sorprendente considerando que los niños de 6 años ya son capaces de discriminar entre cantidades con una proporción de 1:0.9, y que esta habilidad solo mejora con la edad (Halberda & Feigenson, 2008). No hubo

diferencias entre el desempeño en el Control A y el Control B, ya que ambas proporciones eran muy fáciles de distinguir para los sujetos, por lo que no se observó el efecto de la ley de Weber como en los perros.

En los ensayos de ilusión, no encontramos diferencias entre la elección del círculo y la corona (ocho piezas pequeñas), pero sí entre el círculo y los cuatro puntos. Por un lado, esto sugiere que los humanos integran las señales de magnitudes continuas (área individual) y numerosidad (número de ítems) para hacer juicios de cantidad; es posible que las preferencias surjan a nivel individual. Por otro lado, esto sugiere que la decisión está guiada por el número de estímulos: es probable que un número pequeño de estímulos (puntos, cuatro) sea juzgado como menor que un número grande de estímulos (corona, ocho) aunque su área sea igual. Esto puede relacionarse a la teoría de “object file system” y “analog magnitude system”, la cual postula que los estímulos pueden seguirse fácil e individualmente si son menos que 3 o 4—como ocurre con los puntos— procesándose como eventos discretos (Feigenson et al., 2004). Por encima de este número—como ocurre con la corona—la numerosidad se juzga por proporciones y magnitudes continuas. Cuando se requiere realizar una decisión rápida, podría ser que numerosidades que excedan el sistema automático de discriminación se sobreestimen de acuerdo a sus magnitudes continuas; a pesar de tener el área individual de objetos más pequeña, la corona tenía la envoltura convexa más grande de todas las formas y esta propiedad, junto con su mayor numerosidad, podría explicar por qué fue escogida al mismo nivel que el círculo.

Adicionalmente, es interesante notar que la forma de la dona fue escogida mucho menos que las otras tres. El espacio vacío en el centro del círculo puede disuadir a los participantes de escogerla, ya que parece que tiene un área menor; es posible también que sea más difícil de juzgar esta figura rápidamente, haciendo que los participantes escogieran cualquier otra opción antes que esta. Notablemente, a pesar de la falta de preferencia por dicha figura, esta es una forma utilizada en una gran variedad de

contextos, como en señales de tráfico; el uso exclusivo de formas vacías como señales de aviso o peligro podría estar explotando las complejidades en su percepción.

Una posible explicación para esta percepción de la dona como un estímulo de menor área podría deberse a la ilusión óptica geométrica de Oppel-Kundt, o la ilusión del espacio lleno, que menciona que intervalos espaciales que contengan relleno—es decir, elementos visuales distractores—se percibirán como mayores que intervalos espaciales vacíos de la misma longitud (Wackermann, 2017). Esta ilusión se ha comprobado principalmente con líneas, pero Bulatov y sus compañeros encontraron en 2021 que la presencia de un círculo en el intervalo espacial también generaba la sensación de que este era más largo que un intervalo vacío. En nuestro caso, el área vacía en el interior de la dona podría estar siendo subestimada por un mecanismo similar, llevando a la impresión de un diámetro menor (y por lo tanto un área total menor) para el anillo. Los perros también presentaron una preferencia significativa por el círculo por encima de la dona, pero esta era menor y desapareció al hacer comparaciones con el modelo; aun así, se observó a nivel individual que ningún perro escogía esta forma consistentemente cuando era una opción. Es posible que no se llegó al umbral de significancia por el tamaño de la muestra, y sería interesante explorar si este desagrado por la dona existe a nivel general en los perros domésticos como en los humanos.

Al comparar entre las dos especies, se observó que los perros escogen la corona menos que los humanos a lo largo de los ensayos; esto concuerda con las preferencias de cada especie, ya que los humanos escogieron la corona al mismo nivel que el círculo (la forma preferida de ambas especies), pero los perros escogieron la corona mucho menos que el círculo. Dicha diferencia apoya la idea de que los perros se guían por magnitudes continuas como el área individual al tomar elecciones, dejando de lado la numerosidad (Miletto Petrazzini & Wynne, 2016). Por otro lado, los humanos consideran la numerosidad y las magnitudes continuas en conjunto, como se propone en el modelo del grupo de investigación de Leibovich (2017), explicado en detalle en la Figura 2. Adicionalmente, en la comparación dona vs círculo, los perros escogieron el círculo más

que los humanos. Esto indica que la preferencia por el círculo—o el desagrado por la dona—es más robusta en los perros que en los participantes humanos, en los que se observa mayor variación a lo largo de los ensayos a pesar de que existan preferencias marcadas.

Asumimos que la discriminación visual de cantidades en humanos depende del análisis simultáneo de magnitudes numéricas y continuas, dado que estas interactúan y se correlacionan (Leibovich et al., 2017). Sin embargo, el número y tamaño de los ítems y sus proporciones relativas cambian qué sistema se activa. Mientras que nuestros resultados no pueden confirmar o negar ninguna teoría sobre la discriminación de cantidades, apoyan la noción que los humanos usan tanto números como magnitudes continuas para hacer juicios de cantidad.

Es importante considerar el impacto de la cultura en la discriminación de cantidades, dado que este factor podría explicar las diferencias entre perros y humanos. Como se discutió en la introducción, la enumeración no parece tener un propósito evolutivo, sino puramente cultural (Moore, 2021), lo cual es evidenciando por la existencia de sociedades humanas que no tienen palabras para cantidades exactas. En el caso de los perros, poder estimar cantidades por medio de magnitudes continuas como el área individual debería ser suficiente para la toma de decisiones; por otro lado, los participantes humanos de este estudio pertenecen a una cultura que pone mucho valor en la enumeración, por lo que es natural que utilicen esta propiedad además de las propiedades continuas. Sería interesante poder realizar este experimento con sujetos de culturas que sean menos guiadas por los números exactos, para así comparar los factores que propician su discriminación de cantidades.

Adicionalmente, estos factores culturales están intrínsecamente ligados al aprendizaje. Antes de aprender a enumerar, parece que los infantes humanos prefieren hacer uso de magnitudes continuas que de numerosidad al discriminar (Clearfied & Mix, 2001), pero su capacidad de integrar ambos tipos de magnitudes aumenta conforme su aprendizaje avanza (Leibovich et al., 2013). En cuanto a los perros, su grado de

entrenamiento podría llevar a una mejor capacidad de discriminación; es posible que perros que hayan adquirido aprendizajes más cognitivos (resolver rompecabezas, identificar objetos, resolver problemas, etc.) puedan identificar diferencias en numerosidad o magnitudes continuas con mayor éxito y precisión que perros que han adquirido aprendizajes puramente físicos (saltar, sentarse, rodar, etc.).

En los controles realizados en perros, observamos que hubo muchas diferencias individuales en desempeño, con algunos perros teniendo 100% de respuestas correctas y algunos teniendo 0%; dichas diferencias podrían deberse a su estilo de vida, patrones de alimentación, interacción con sus dueños, entrenamiento, socialización con otros perros, etc. Este fenómeno no se encontró en los humanos, probablemente debido a la facilidad de discriminación de las proporciones utilizadas. Es posible que al presentar proporciones más complicadas (por ejemplo, 1:0.9) también surgieran diferencias individuales en desempeño, dadas por factores como preferencias alimenticias (hay individuos que prefieren porciones más grandes o pequeñas), ocupación (hay trabajos en los que se debe discriminar entre cantidades o utilizar habilidades numéricas constantemente), socialidad (personas altamente sociables guiaran sus decisiones considerando a otros), etc. Debemos considerar la posibilidad de que estos factores hayan ejercido un efecto en las preferencias en los ensayos experimentales, y sería importante registrarlos para futuros experimentos.

Para la latencia, encontramos que los humanos son más rápidos en los ensayos control que en los experimentales, sugiriendo que estos últimos eran decisiones más complicadas y requerían un procesamiento más complejo de los estímulos. Además, tomaron decisiones más rápidas cuando los ensayos control eran entre círculos de diferentes tamaños, lo cual parece indicar que juzgar el área individual de objetos era más rápido cuando no había interacción con la numerosidad; esto concuerda con las elecciones de infantes (Clearfield & Mix 1999; Clearfield & Mix 2001; Feigenson et al. 2002) y la actividad cerebral de adultos (Gebuis & Reynvoet 2013; Soltész & Szűcs 2014).

La diferencia entre las latencias de las especies puede explicarse principalmente por las diferencias en la aplicación de la metodología: los perros respondían espontáneamente y no tenían un límite de tiempo para hacer una elección, mientras que los humanos recibieron instrucciones y tenían solamente cierto tiempo para realizar cada elección.

7.1 Limitaciones

Nuestro estudio tiene varias limitaciones. Primero que nada, la envoltura convexa de las formas es diferente. Diseñamos las formas con la intención de que las piezas individuales pudieran ser bien reconocidas, por lo que no pudimos controlar para esta variable; las envolturas convexas resultantes son opuestas a la numerosidad de las figuras, con el círculo teniendo la menor, seguida por la dona, luego los puntos y finalmente la corona con la mayor. Como se mencionó previamente, existe la posibilidad de que la envoltura convexa mayor de la corona y el área individual mayor del círculo sean las dos razones por las cuales fueron escogidas igualmente por los humanos; en un futuro, sería interesante mantener estas propiedades controladas para determinar su efecto. En el caso de los perros, los resultados sugieren que la especie no se vió influenciada por la envoltura convexa al tomar decisiones.

La segunda limitación es la elección de metodología, que nos permitió aplicar pruebas a diferentes especies pero que dificulta la comparación de resultados entre humanos y animales no humanos. Estudios comparativos que incluyen participantes humanos presentan dificultades para controlar las diferencias en motivación, debido a la falta de recompensa, y para asegurar la naturaleza espontánea de la tarea, dado que se dan instrucciones y se realizan en un ambiente no naturalístico. Una dirección potencial para estudios futuros involucrando participantes humanos sería utilizar formas basadas en comida u objetos de contextos más naturales, o proporcionar recompensas monetarias o comestibles después de los ensayos.

Para poder profundizar en el estudio de las preferencias de los perros frente a estímulos con características específicas (numerosidad o área individual), sería ideal formular un experimento utilizando múltiples grupos de perros con condiciones diferentes: una condición completamente espontánea, como la presentada en este trabajo; una condición de pseudo-entrenamiento para reducir los posibles efectos indeseados de la espontaneidad de la tarea (Simona et al., 2021), en la que se retire la comida si los sujetos escogen el estímulo de menor área en los controles; y una condición de entrenamiento prolongado. Esto ayudaría a distinguir la conducta de elección natural de los animales de los efectos o capacidades de discriminación generados por entrenamiento. Adicionalmente, sería informativo incluir ensayos congruentes y no congruentes en área y numerosidad, como los que se presentan en pruebas para humanos, para elucidar el papel específico de cada magnitud al momento de discriminar. Experimentos futuros podrían utilizar técnicas no invasivas como ERP en perros con el propósito de estudiar la automaticidad de procesamiento de las diversas características de estímulos por medio de la actividad cerebral, con un protocolo como el de Soltész & Szűcs (2014).

8. Conclusión

La evidencia encontrada en las dos especies sugiere que no hay una regla universal que explique cómo los organismos eligen entre cantidades. Los resultados de este trabajo indican que la estimación de cantidades está fuertemente relacionada a factores del contexto ecológico de cada especie, como su tipo de alimentación y su organización social. También podemos inferir que las preferencias por uno u otro estímulo se verán influenciadas por las necesidades—alimenticias, de socialización, psicológicas—y las habilidades—cognitivas, emocionales, ejecutivas—de los organismos estudiados, tanto a nivel grupal como a nivel individual.

Hay pocos estudios y revisiones que se centren en la discriminación de cantidades y que hagan comparaciones entre perros y humanos. Con los resultados obtenidos en este

proyecto, se busca impulsar la idea de que no debemos guiarnos únicamente por la teoría del sentido numérico, casi visualizada como un axioma en algunos círculos de investigación, sino que debemos hacer más pruebas para comprobar su veracidad. Es necesario integrar múltiples teorías sobre discriminación y preferencia de cantidades para comprender el fenómeno a mayor profundidad.

Trabajos futuros se centrarán en probar la estimación de cantidades en diferentes contextos (presencia o ausencia de hambre, presencia o ausencia de amenazas, diferentes emociones basales, individuos con diferentes ocupaciones, etc.), utilizando diversas fuentes de motivación (entrega de recompensas monetarias, uso de estímulos contextualmente atractivos, apoyo social, etc.). Se intentará expandir nuestra muestra para incluir a infantes, niños, adolescentes y adultos mayores, recopilando más datos sobre sus estilos de vida para discernir si tienen un efecto en las elecciones de los sujetos. Adicionalmente, buscaremos controlar otras magnitudes continuas, como perímetro, densidad, volumen, etc., para identificar el rol que juega cada una de ellas al discriminar cantidades.

9. Anexo

Anexo 1.1 Variables demográficas de los perros

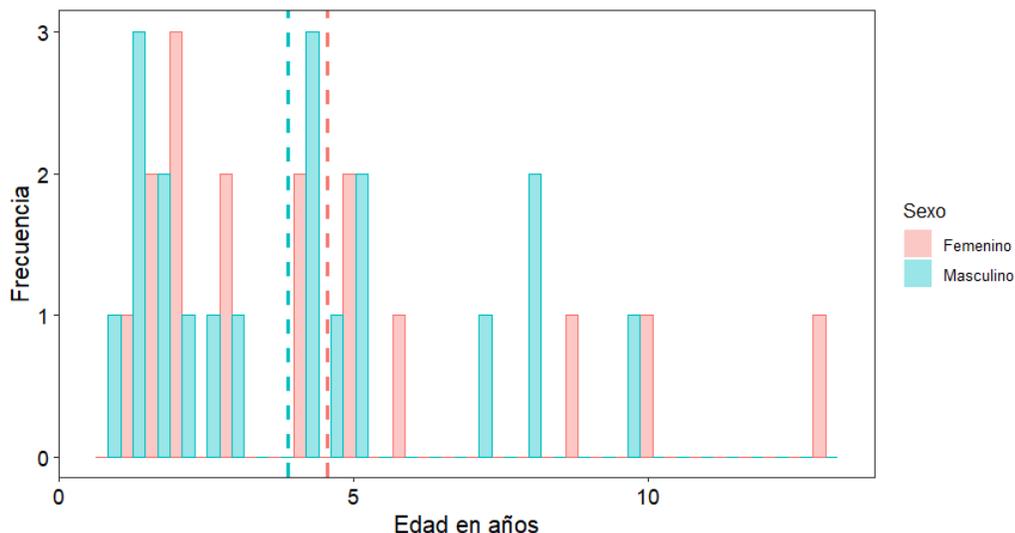


Figura S1. Edad en años de los perros participantes, separados de acuerdo a su sexo (Femenino o Masculino). Este histograma representa la distribución de edades de los perros ($n = 28$; 13 machos y 15 hembras). La línea punteada azul representa la media de edad de los machos, mientras que la línea punteada rosa representa la media de edad de las hembras. Las distribuciones presentan asimetría positiva, con más valores pequeños (0 a 5 años) y pocos valores grandes (5 a 12), y medias entre 4 y 5 años. Las hembras presentan algunos valores más altos que los machos, lo cual puede observarse en la pequeña diferencia entre las medias.

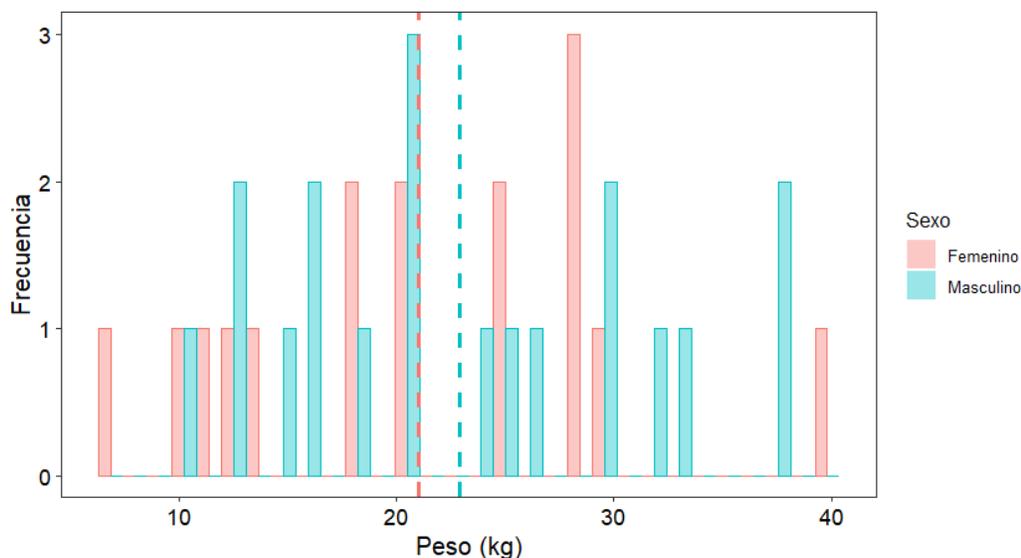


Figura S2. Peso en kilogramos de los perros participantes, separados de acuerdo a su sexo (Femenino o Masculino). Este histograma representa la distribución de pesos de los perros ($n = 28$; 13 machos y 15 hembras). La línea punteada azul representa la media de peso de los machos, mientras que la

línea punteada rosa representa la media de peso de las hembras. Las distribuciones son cuasinormales, con más valores centrales (15 a 30 kg) que en los extremos (0 a 10 y 30 a 40). Los machos presentan una media de peso mayor que las hembras, pero ambos se encuentran entre 20 y 25 kgs.

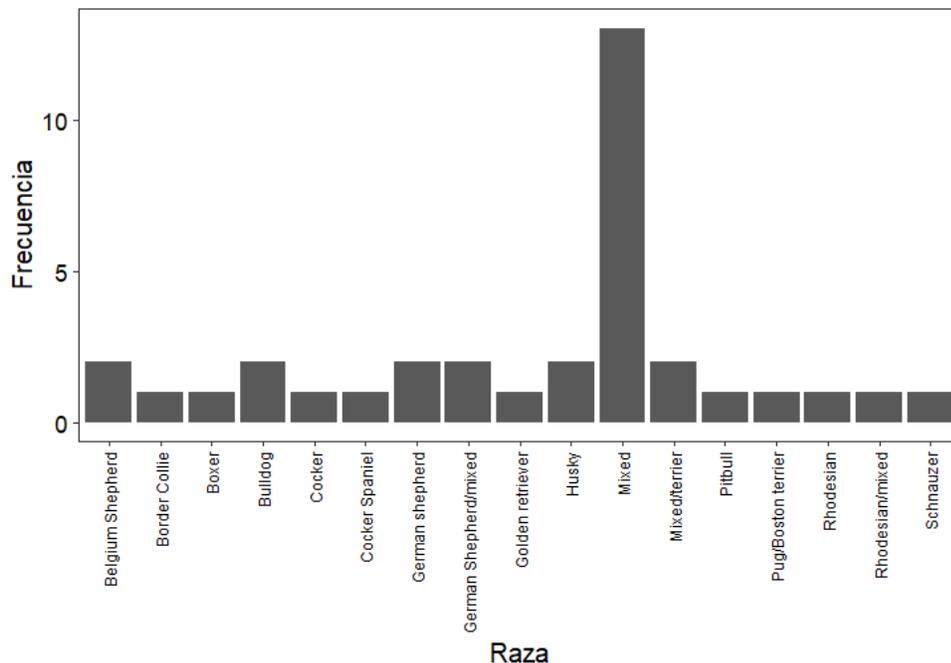


Figura S3. Raza de los perros participantes. Esta gráfica representa la frecuencia de razas encontradas en la muestra de perros (n = 28). Se puede observar que la mayoría de perros eran de raza mixta, y hay 2 o menos instancias de todas las otras razas.

Anexo 1.2 Variables demográficas de los participantes humanos

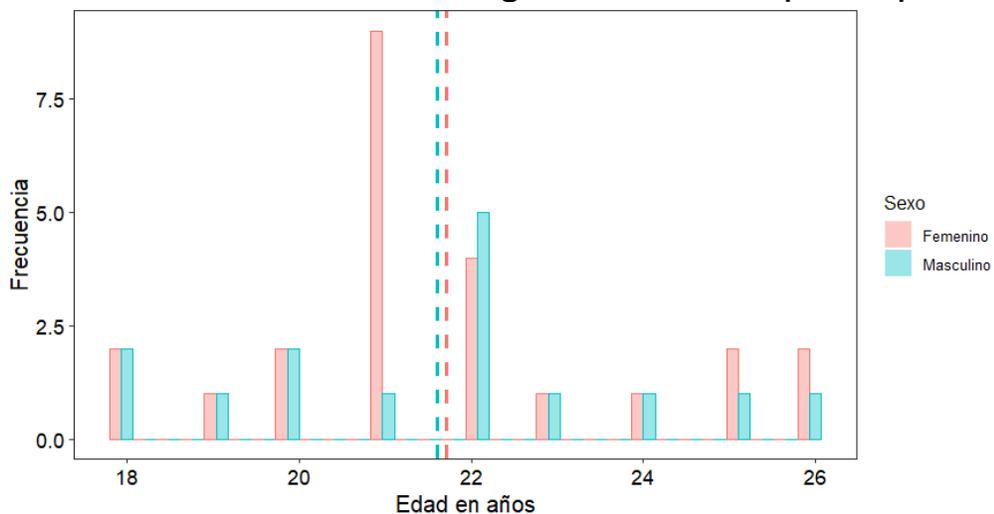


Figura S4. Edad en años de los participantes humanos, separados de acuerdo a su sexo (Femenino o Masculino). Este histograma representa la distribución de edades de los humanos (n = 38; 24 mujeres y 14 hombres). La línea punteada azul representa la media de edad de los hombres, mientras que la línea punteada rosa representa la media de edad de las mujeres. El rango de la distribución es muy disminuido,

de acuerdo con el diseño experimental. La media de hombres y la media de mujeres son muy similares, indicando que no hay diferencias marcadas en edad entre ambos grupos.

Anexo 2.1 Instrucciones para dueños de los perros

Una vez que se había preparado la habitación para la aplicación de la prueba (colocar la lámina en el piso y marcar el punto de inicio a una distancia de 2 metros) y que los dueños de los perros habían dado consentimiento para grabar los ensayos, se dieron las siguientes instrucciones de forma oral:

“Debes guiar a [nombre del perro] a este punto (señalando la marca del punto de inicio) y mantenerlo ahí. Yo prepararé los platos con el jamón. Mientras tanto, es necesario que mantengas a [nombre del perro] mirando en la dirección opuesta para que no vea el proceso de preparación. Una vez que yo haya terminado de preparar los platos, los colocaré encima de la lámina negra y me voltearé en la dirección opuesta para que [nombre del perro] no reciba pistas.

Cuando yo diga “Ya”, deberás voltear a [nombre del perro] y sostenerlo en el punto de inicio por cinco segundos para que visualice ambos estímulos. Después de esos cinco segundos, podrá dejarlo ir para que se acerque a la comida. Es importante que no hagas gestos o señales y que no digas nada que pudiera influir en su decisión. Cuando haya elegido uno de los dos platos, le retiraré el otro para que solamente coma del plato elegido. Posteriormente, deberás regresar a [nombre del perro] al punto de inicio.

Repetiremos este proceso múltiples veces, puedes informarme si te cansas o si notas que [nombre del perro] ya no está motivado a participar.”

Anexo 2.2 Instrucciones para participantes humanos

Antes de empezar la prueba, los participantes humanos recibieron las siguientes instrucciones de forma oral:

“En esta prueba queremos evaluar la percepción de distintas imágenes. La prueba será en una computadora, donde se presentarán dos imágenes y deberás escoger una de

acuerdo a la instrucción dada. Después, haremos unas preguntas referentes a cómo te sentiste durante la prueba. Todo el proceso debería tomar 5 minutos. Es muy importante que sepas que tu participación en este estudio es totalmente voluntaria y que puedes decidir no continuar en cualquier momento.

Los datos obtenidos de la prueba serán únicamente con fines académicos. En ninguna circunstancia se harán públicos los datos personales de los participantes.

Si existe cualquier duda con respecto a los puntos que se mencionan o es necesario hacer claro algún punto en particular, es posible expresarlo conmigo y con gusto se te ofrecerá ayuda.”

Una vez que habían firmado el formato de consentimiento y se encontraban sentados frente a la computadora, se inició la prueba en Psychopy, la cual mostraba las siguientes instrucciones en la pantalla:

“A continuación, te presentaremos dos imágenes, una del lado derecho y una del lado izquierdo. Debes elegir la imagen que tenga un área MAYOR de color negro. Trata de responder tan rápido como puedas.”

Después de completar cada ensayo, había una pantalla en blanco con un punto naranja en el centro que los participantes tenían que presionar (con el propósito de recalibrar el ratón al centro). Se mostraba la siguiente instrucción:

“Para ver la siguiente imagen, haz click sobre EL CÍRCULO NARANJA”

10. Referencias

Abreu-Mendoza, R. A., & Arias-Trejo, N. (2015). Numerical and area comparison abilities in Down syndrome. *Research in Developmental Disabilities*, 41-42, 58–65. <https://doi.org/10.1016/j.ridd.2015.05.008>

Agrillo, C., & Bisazza, A. (2017). Understanding the origin of number sense: a review of fish studies. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 373(1740), 20160511. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0511>

Agrillo, C., Dadda, M., & Serena, G. (2008). Choice of Female Groups by Male Mosquitofish (*Gambusia holbrooki*). *Ethology*, 114(5), 479–488. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0310.2008.01493.x>

Aria, M., Alterisio, A., Scandurra, A., Pinelli, C., & D'Aniello, B. (2021). The scholar's best friend: research trends in dog cognitive and behavioral studies. *Animal cognition*, 24(3), 541–553. <https://doi.org/10.1007/s10071-020-01448-2>

Aulet, L. S., Chiu, V. C., Prichard, A., Spivak, M., Lourenco, S. F., & Berns, G. S. (2019). Canine sense of quantity: evidence for numerical ratio-dependent activation in parietotemporal cortex. *Biology letters*, 15(12), 20190666. <https://doi.org/10.1098/rsbl.2019.0666>

Bánszegi, O., Urrutia, A., Szenczi, P., & Hudson, R. (2016). More or less: spontaneous quantity discrimination in the domestic cat. *Animal cognition*, 19(5), 879–888. <https://doi.org/10.1007/s10071-016-0985-2>

Becker, N., Prasad-Shreckengast, S, & Byosiere, S. E. (2021). Methodological challenges in the assessment of dogs' (*Canis lupus familiaris*) susceptibility of the Ebbinghaus-

Titchener illusion using the spontaneous choice task. *Animal Behavior and Cognition*, 8(2), 138-151. <https://doi.org/10.26451/abc.08.02.04.2021>

Benson-Amram, S., Gilfillan, G., & McComb, K. (2017). Numerical assessment in the wild: insights from social carnivores. *Philosophical transactions of the Royal Society of London. Series B, Biological sciences*, 373(1740), 20160508. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0508>

Benson-Amram, S., Heinen, V. K., Dryer, S. L., & Holekamp, K. E. (2011). Numerical assessment and individual call discrimination by wild spotted hyaenas, *Crocuta crocuta*. *Animal Behaviour*, 82(4), 743–752. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.07.004>

Beran, M. J. (2006). Quantity Perception by Adult Humans (*Homo sapiens*), Chimpanzees (*Pan troglodytes*), and Rhesus Macaques (*Macaca mulatta*) as a Function of Stimulus Organization. *International Journal of Comparative Psychology*, 19(4). <https://doi.org/10.46867/ijcp.2006.19.04.05>

Beran, M. J., Evans, T. A., & Harris, E. H. (2008). Perception of Food Amounts by Chimpanzees Based on the Number, Size, Contour Length and Visibility of Items. *Animal behaviour*, 75(5), 1793–1802. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2007.10.035>

Beran, M. J., Parrish, A. E., & Evans, T. A. (2015). Numerical cognition and quantitative abilities in nonhuman primates. In *Advances in mathematical cognition and learning* (pp. 91–119). <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-420133-0.00004-1>

Bogale, B. A., Aoyama, M., & Sugita, S. (2014). Spontaneous discrimination of food quantities in the jungle crow, *Corvus macrorhynchos*. *Animal Behaviour*, 94, 73–78. <https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2014.05.012>

Bulatov, A., Bulatova, N., & Diržius, E. (2021). Quantitative examination of an unconventional form of the filled-space illusion. *Attention, perception & psychophysics*, 83(5), 2136–2150. <https://doi.org/10.3758/s13414-021-02304-2>

Bunford, N., Andics, A., Kis, A., Miklósi, Á., & Gácsi, M. (2017). *Canis familiaris* As a Model for Non-Invasive Comparative Neuroscience. *Trends in neurosciences*, 40(7), 438–452. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2017.05.003>

Caicoya, A. L., Colell, M., Holland, R., Ensenyat, C., & Amici, F. (2020). Giraffes go for more: a quantity discrimination study in giraffes (*Giraffa camelopardalis*). *Animal Cognition*, 24(3), 483–495. <https://doi.org/10.1007/s10071-020-01442-8>

Cantlon, J. F., & Brannon, E. M. (2007). How much does number matter to a monkey (*Macaca mulatta*)?. *Journal of experimental psychology. Animal behavior processes*, 33(1), 32–41. <https://doi.org/10.1037/0097-7403.33.1.32>

Cantlon, J. F., Platt, M. L., & Brannon, E. M. (2009). Beyond the number domain. *Trends in cognitive sciences*, 13(2), 83–91. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.11.007>

Clearfield, M. W., & Mix, K. S. (1999). Number Versus Contour Length in Infants' Discrimination of Small Visual Sets. *Psychological Science*, 10(5), 408-411. <https://doi.org/10.1111/1467-9280.00177>

Clearfield, M. W., & Mix, K. S. (2001). Amount versus number: Infants' use of area and contour length to discriminate small sets. *Journal of Cognition and Development*, 2(3), 243–260. https://doi.org/10.1207/s15327647jcd0203_1

Davis, H., & Pérusse, R. (1988). Numerical competence in animals: Definitional issues, current evidence, and a new research agenda. *Behavioral and Brain Sciences*, 11(4), 561–579. <https://doi.org/10.1017/s0140525x00053437>

Dehaene, S., & Changeux, J. P. (1993). Development of elementary numerical abilities: a neuronal model. *Journal of cognitive neuroscience*, 5(4), 390–407.

<https://doi.org/10.1162/jocn.1993.5.4.390>

Dehaene, S., Dehaene-Lambertz, G., & Cohen, L. (1998). Abstract representations of numbers in the animal and human brain. *Trends in neurosciences*, 21(8), 355–361.

[https://doi.org/10.1016/s0166-2236\(98\)01263-6](https://doi.org/10.1016/s0166-2236(98)01263-6)

Emmerton, J. (2001). Birds' judgments of number and quantity. *Avian Visual Cognition*.

<http://pigeon.psy.tufts.edu/avc/emmerton/>

Feigenson, L., Carey, S., & Spelke, E. (2002). Infants' Discrimination of Number vs. Continuous Extent. *Cognitive Psychology*, 44(1), 33–66.

<https://doi.org/10.1006/cogp.2001.0760>

Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in cognitive sciences*, 8(7), 307–314. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2004.05.002>

Gatto, E., Loukola, O. J., & Agrillo, C. (2021). Quantitative abilities of invertebrates: a methodological review. *Animal Cognition*, 25(1), 5–19. <https://doi.org/10.1007/s10071-021-01529-w>

Gebuis, T., & Reynvoet, B. (2012). The interplay between nonsymbolic number and its continuous visual properties. *Journal of Experimental Psychology: General*, 141(4), 642–648. <https://doi.org/10.1037/a0026218>

Gebuis, T., & Reynvoet, B. (2013). The neural mechanisms underlying passive and active processing of numerosity. *NeuroImage*, 70, 301–307.

<https://doi.org/10.1016/j.neuroimage.2012.12.048>

Gómez-Laplaza, L. M., & Gerlai, R. (2011). Can angelfish (*Pterophyllum scalare*) count? Discrimination between different shoal sizes follows Weber's law. *Animal cognition*, *14*(1), 1–9. <https://doi.org/10.1007/s10071-010-0337-6>

Halberda, J., & Feigenson, L. (2008). Developmental change in the acuity of the "number sense": The approximate number system in 3-, 4-, 5-, and 6-year-olds and adults. *Developmental Psychology*, *44*(5), 1457–1465. <https://doi.org/10.1037/a0012682>

Hurewitz, F., Gelman, R., & Schnitzer, B. (2006). Sometimes area counts more than number. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *103*(51), 19599–19604. <https://doi.org/10.1073/pnas.0609485103>

Leibovich, T., & Henik, A. (2013). Magnitude processing in non-symbolic stimuli. *Frontiers in psychology*, *4*, 375. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00375>

Leibovich, T., Katzin, N., Harel, M., & Henik, A. (2017). From "sense of number" to "sense of magnitude": The role of continuous magnitudes in numerical cognition. *The Behavioral and brain sciences*, *40*, e164. <https://doi.org/10.1017/S0140525X16000960>

Löoke, M., Marinelli, L., Agrillo, C., Guérineau, C., & Mongillo, P. (2021). Dogs (*canis familiaris*) underestimate the quantity of connected items: first demonstration of susceptibility to the connectedness illusion in non-human animals. *Scientific reports*, *11*(1), 23291. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-02791-1>

Löoke, M., Marinelli, L., Eatherington, C. J., Agrillo, C., & Mongillo, P. (2020). Do Domestic Dogs (*Canis lupus familiaris*) Perceive Numerosity Illusions?. *Animals: an open access journal from MDPI*, *10*(12), 2304. <https://doi.org/10.3390/ani10122304>

López Caicoya, Á. (2023) *Cognition in ungulates: a new perspective in the evolutionary field*. [Tesis de doctorado, Universitat de Barcelona]. <http://hdl.handle.net/2445/207556>

Macpherson, K., & Roberts, W. A. (2013). Can dogs count? *Learning and Motivation*, 44(4), 241–251. <https://doi.org/10.1016/j.lmot.2013.04.002>

Miletto Petrazzini, M. E., & Wynne, C. D. (2016). What counts for dogs (*Canis lupus familiaris*) in a quantity discrimination task?. *Behavioural processes*, 122, 90–97. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2015.11.013>

Miletto Petrazzini, M. E., & Wynne, C. D. L. (2017). Quantity discrimination in canids: Dogs (*Canis familiaris*) and wolves (*Canis lupus*) compared. *Behavioural processes*, 144, 89–92. <https://doi.org/10.1016/j.beproc.2017.09.003>

Moore, R. (2021). The cultural evolution of mind-modelling. *Synthese* 199, 1751–1776. <https://doi.org/10.1007/s11229-020-02853-3>

Nieder A. (2005). Counting on neurons: the neurobiology of numerical competence. *Nature reviews. Neuroscience*, 6(3), 177–190. <https://doi.org/10.1038/nrn1626>

Panteleeva, S., Reznikova, Z., & Vygoniyailova, O. (2013). Quantity judgments in the context of risk/reward decision making in striped field mice: first "count," then hunt. *Frontiers in psychology*, 4, 53. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2013.00053>

Peirce, J., Gray, J. R., Simpson, S., MacAskill, M., Höchenberger, R., Sogo, H., Kastman, E., & Lindeløv, J. K. (2019). PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior Research Methods*, 51(1), 195–203. <https://doi.org/10.3758/s13428-018-01193-y>

Pisa, P. E., & Agrillo, C. (2008). Quantity discrimination in felines: a preliminary investigation of the domestic cat (*Felis silvestris catus*). *Journal of Ethology*, 27(2), 289–293. <https://doi.org/10.1007/s10164-008-0121-0>

Pica, P., Lemer, C., Izard, V., & Dehaene, S. (2004). Exact and approximate arithmetic in an Amazonian indigene group. *Science (New York, N.Y.)*, 306(5695), 499–503. <https://doi.org/10.1126/science.1102085>

Range, F., Jenikejew, J., Schröder, I., & Virányi, Z. (2014). Difference in quantity discrimination in dogs and wolves. *Frontiers in psychology*, 5, 1299. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.01299>

Riemer, S., Ellis, S. L.H., Thompson, H., & Burman, O. H.P. (2018). Reinforcer effectiveness in dogs—The influence of quantity and quality. *Applied Animal Behaviour Science*, 206, 87–93. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2018.05.016>

Rivas-Blanco, D., Pohl, I. M., Dale, R., Heberlein, M. T. E., & Range, F. (2020). Wolves and Dogs May Rely on Non-numerical Cues in Quantity Discrimination Tasks When Given the Choice. *Frontiers in psychology*, 11, 573317. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.573317>

Rodríguez, R. L., Briceño, R. D., Briceño-Aguilar, E., & Höbel, G. (2015). *Nephila clavipes* spiders (Araneae: Nephilidae) keep track of captured prey counts: testing for a sense of numerosity in an orb-weaver. *Animal cognition*, 18(1), 307–314. <https://doi.org/10.1007/s10071-014-0801-9>

Simona, N., Maria, L., Lucia, R., Giovanna, M., Michela, M., Elena, P., & Attilio, A. P. (2021). How spontaneous is spontaneous quantity discrimination in companion dogs? *Applied Animal Behaviour Science*, 246, 105534. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2021.105534>

Soltész, F., & Szűcs, D. (2014). Neural adaptation to non-symbolic number and visual shape: An electrophysiological study. *Biological Psychology*, 103, 203–211. <https://doi.org/10.1016/j.biopsycho.2014.09.006>

Sulkama, S., Puurunen, J., Salonen, M., Mikkola, S., Hakanen, E., Araujo, C., & Lohi, H. (2021). Canine hyperactivity, impulsivity, and inattention share similar demographic risk factors and behavioural comorbidities with human ADHD. *Translational Psychiatry*, 11(1), Article 501. <https://doi.org/10.1038/s41398-021-01626-x>

Uller, C., & Lewis, J. (2009). Horses (*Equus caballus*) select the greater of two quantities in small numerical contrasts. *Animal cognition*, 12(5), 733–738. <https://doi.org/10.1007/s10071-009-0225-0>

Viswanathan, P., & Nieder, A. (2013). Neuronal correlates of a visual "sense of number" in primate parietal and prefrontal cortices. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 110(27), 11187–11192. <https://doi.org/10.1073/pnas.1308141110>

Wackermann, J. (2017). The Oппel-Kundt illusion. In A. G. Shapiro & D. Todorović (Eds.), *The Oxford compendium of visual illusions* (pp. 303–307). Oxford University Press. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780199794607.003.0035>

Walsh V. (2003). A theory of magnitude: common cortical metrics of time, space and quantity. *Trends in cognitive sciences*, 7(11), 483–488. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2003.09.002>

Ward, C., & Smuts, B. B. (2007). Quantity-based judgments in the domestic dog (*Canis lupus familiaris*). *Animal cognition*, 10(1), 71–80. <https://doi.org/10.1007/s10071-006-0042-7>