
Efecto de la demora sobre la discriminación de cantidades en el pez ángel
(*Pterophyllum scalare*)
Effect of delay on quantity discrimination in angelfish (*Pterophyllum scalare*)
Álvaro López Caicoya y Luis M. Gómez-Laplaza
Departamento de Psicología. Universidad de Oviedo.

RESUMEN

Estudios en diversas especies animales han mostrado que la capacidad para discriminar entre agrupaciones de diferente tamaño numérico puede proporcionar ventajas adaptativas en diferentes contextos funcionales. En el presente estudio, para examinar la capacidad de discriminación numérica del pez ángel, *Pterophyllum scalare*, sometimos a los sujetos a una prueba de elección binaria presentando simultáneamente dos grupos de individuos de la misma especie pero de diferente tamaño. Incluimos una modificación metodológica añadiendo un componente de memoria en la elección. Así, tras un período en que los sujetos podían observar a los grupos, se impidió la visión de los mismos durante 30 segundos antes de comenzar la prueba de discriminación. Se presentaron grupos tanto en el rango de números grandes (≥ 4 miembros) como en el rango de números pequeños (< 4 miembros). Encontramos que en el grupo de control (contraste 0 vs. 4 peces) los sujetos discriminaron el grupo con peces. Asimismo, cuando al menos uno de los grupos contenía un número de miembros en el rango de números grandes y los contrastes diferían en una razón de 1:2 (4 vs. 8 peces) o menor (1 vs. 4 peces), los sujetos mostraron preferencia por el grupo mayor. Sin embargo, cuando los contrastes estaban dentro del rango de números pequeños (1 vs. 2 y 2 vs. 3), los sujetos fallaron en la discriminación. Los resultados indican que el pez ángel puede discriminar entre grupos grandes cuando uno de ellos está constituido, al menos, por el doble de elementos que el otro. El fallo en los contrastes con grupos pequeños, con pequeñas diferencias numéricas entre ellos, sugiere la existencia de un límite en la discriminación o, alternativamente, que ante tal demanda de memoria, la saliencia de los estímulos toma prioridad en la toma de decisiones.

Palabras clave Discriminación de cantidades, elección de grupo, memoria de trabajo, pez ángel

ABSTRACT

In a variety of animal species it has been shown that the ability to discriminate between groups of different numerical size may provide adaptive advantages in different functional contexts. Quantity discrimination has frequently been investigated using dichotomous choice tests, in which the subjects must choose between two different sets of items presented simultaneously. In the present study, using the angelfish (*Pterophyllum scalare*), groups of conspecifics of different numerical size were presented and a memory component was introduced in the choice. After a period of full view of the stimulus groups, the visual access of the test fish to the groups was prevented during 30 seconds prior to the choice. Thereafter, subjects were faced with a discrimination between groups within the large number range (≥ 4 members) and also in the small number range (< 4 members). We found that in a control group (contrast 0 vs. 4 fish) subjects discriminated the group with fish over an empty compartment. A preference for the larger group was shown when at least one of the groups had a number of members in the large number range, and the groups differed by a 1:2 (4 vs. 8 fish) or lower ratio (1 vs. 4 fish). However, in the comparisons between groups in the small number range (1 vs. 2 and 2 vs. 3), subjects failed in the discrimination. The results indicate that angelfish can discriminate between large groups when one of them has, at least, twice as many elements as the other. The failure with small groups, with small numerical differences between groups, suggests the existence of a limit in the discrimination or, alternatively, that when facing such a memory demand, the salience of the stimuli takes priority in the decision-making process.

Keywords: quantity discrimination, group choice, working memory, angelfish.

Contacto

Luis M. Gómez-Laplaza

e-mail: lmgomez@uniovi.es

1.- Introducción

Se ha sugerido que la representación simbólica del número en humanos, como otros aspectos del conocimiento humano, puede tener sus raíces en un sistema de conocimiento primordial, con frecuencia denominado sistema básico o nuclear ('core system', Carey, 2009). Este sistema parece haber evolucionado mucho antes de la época de los humanos modernos, y por tanto puede compartirse entre diferentes especies (Vallortigara, 2015) y ser accesible a los humanos desde el desarrollo temprano, incluso desde el momento del nacimiento (Hauser & Spelke, 2004). Así, está ampliamente aceptado que especies humanas y no humanas poseen un sistema especializado para procesar la información numérica y se ha sugerido que la discriminación entre cantidades puede estar en las raíces de la numeración simbólica (Carey, 2001). Por tanto, para examinar las propiedades de este sistema básico, su presencia desde la temprana infancia y su presencia a través de las especies, la investigación necesita focalizarse tanto en estudios ontogenéticos como en enfoques comparados.

Diversos hallazgos con bebés humanos han llevado a los investigadores a proponer que las raíces de la numeración simbólica no parecen ser simbólicas. La representación y discriminación espontánea de cantidades se ha demostrado que existe en bebé humanos y en una variedad de especies animales (Cantlon & Brannon, 2006) y la semejanza en la ejecución sugiere la existencia de un mecanismo común no verbal compartido por especies muy diferentes (Feigenson, Dehaene, & Spelke, 2004; Uller, Jaeger, Guidry, & Martin, 2003). Diversos estudios experimentales han demostrado que este mecanismo está basado en dos sistemas separados: uno relacionado con cantidades grandes (≥ 4 ítems) y el otro relacionado con cantidades pequeñas (≤ 4 ítems) (e.g., Cordes & Brannon, 2009). En el primer caso la representación no es muy precisa y la discriminación del número de objetos solamente puede ser aproximada. Es el denominado *sistema de magnitud análoga* o *sistema numérico aproximado*. La discriminación del conjunto numéricamente mayor no depende tanto del tamaño del conjunto, sino de la ratio entre los dos conjuntos a discriminar. El uso de estas ratios se ajusta a la ley de Weber en tanto que el éxito en la discriminación disminuye a medida que la razón entre el grupo menor y el mayor se aproxima a 1. Se cree que este sistema numérico aproximado constituye la piedra angular de nuestro desarrollo numérico en general, y de las matemáticas más avanzadas en particular (Dehaene, 2009; Halberda & Feigenson, 2008). El segundo sistema se sugiere que sirve para las representaciones más precisas de números pequeños. Es un mecanismo de atención basado en el objeto y así cada elemento presente se representa mediante un símbolo denominado *archivo de objeto* ('object file') que se almacena en la memoria de trabajo. Mediante este sistema, el sujeto reconoce con la misma precisión la cantidad mayor cuando tiene que distinguir 1 ítem versus 2 ítems que cuando tiene que distinguir entre 2 versus 3 o 1 versus 3 ítems. Como se ha demostrado en un buen número de especies, el límite superior para el número de objetos que se pueden representar con este sistema es de 3-4, aparentemente debido a las limitaciones de la memoria de trabajo (Pepperberg & Carey, 2012).

Mientras estudios ontogenéticos han mostrado que infantes humanos preverbales exhiben conocimiento numérico ('number sense', Dehaene, 2011) y discriminación de cantidades (Cordes & Brannon, 2009; Feigenson et al., 2004), la investigación comparada ha establecido que cierto nivel de representación de cantidades es espontánea y naturalmente presente en una diversidad de especies (e.g. Rugani, Regolin, & Vallortigara, 2008; Uller et al., 2003; Uller & Lewis, 2009). Esta evidencia no es sorprendente puesto que muchas especies animales han estado sujetas a presiones de

selección conducentes a la emergencia de algún nivel de discriminación y representación de cantidades. Estas capacidades cognitivas podrían proporcionar ventajas adaptativas en contextos muy diversos, tales como contextos de forrajeo, de elección de tamaño del grupo al que unirse, de distinción de la magnitud de la puesta o para diferenciar entre grupos de depredadores de diferente tamaño.

En el presente trabajo, utilizando una metodología novedosa en este tipo de estudios, investigamos en el pez ángel (*Pterophyllum scalare*, nuestro organismo modelo) la capacidad para discriminar entre cantidades (grupos de individuos de su misma especie) tanto numéricamente grandes como pequeñas. Hemos elegido esta especie porque se trata de una especie altamente social que muestra, por tanto, una fuerte tendencia a asociarse en grupos. El pez ángel pertenece a la familia de los cíclidos, que mayoritariamente habitan aguas dulces tropicales. En la naturaleza los juveniles forman grupos no demasiado grandes, de aproximadamente 15 individuos, que habitan en la proximidad de las orillas de los ríos (Praetorius, 1932).

En la mayoría de estudios sobre discriminación numérica en distintas especies se ha utilizado el alimento como estímulo discriminativo para la elección (e.g., Cox & Montrose, 2016; Krusche, Uller, & Dicke, 2010). En nuestros experimentos, sin embargo, hemos considerado la naturaleza social del pez ángel y hemos utilizado como estímulos a grupos de individuos de la misma especie. Así, hemos investigado la conducta de discriminación de cantidades situando a los sujetos individualmente en un ambiente novedoso. Dado que en el pez ángel la tendencia a asociarse con otros individuos de su misma especie es alta, y puesto que la separación de los compañeros y el ambiente novedoso (el acuario experimental) pone al individuo ante una situación potencialmente amenazante, se espera que el sujeto tienda rápidamente a unirse a los grupos de estímulo y preferencialmente (si es capaz de discriminar) al grupo mayor, ya que ofrece una mayor protección contra eventuales peligros. De hecho, una conducta similar se ha demostrado ya en estudios anteriores con esta especie (e.g., Gómez-Laplaza, 2005; Gómez-Laplaza & Gerlai, 2011) así como en otras especies de peces (Agrillo, Dadda, Serena, & Bisazza, 2008; Miletto Petrazzini & Agrillo, 2016).

Hemos utilizado la prueba de elección binaria, un paradigma bien establecido en muchas especies animales, incluyendo bebés humanos, para el estudio de la discriminación de cantidades. Sin embargo, hemos añadido una diferencia metodológica con respecto a otros trabajos. La novedad consistió en la introducción de un componente de memoria en la discriminación. Así, se presentaron al pez de prueba dos grupos de individuos de su misma especie de diferente tamaño numérico situados uno en cada extremo del acuario experimental. Se permitió al sujeto observar a los dos grupos durante un tiempo, y posteriormente se los ocultó durante unos segundos (componente de memoria). Tras este período, en el momento de la discriminación, se permitió a los sujetos la visión de un solo pez de cada grupo para elicitar la respuesta de acercamiento. En otros estudios se ha demostrado que el pez ángel puede discriminar entre grupos de congéneres basándose solamente en claves visuales (e.g., Gómez-Laplaza, 2005; Gómez-Laplaza & Gerlai, 2011), y también ha mostrado ser capaz de discriminar entre grupos después de pequeños intervalos de retención (Gómez-Laplaza & Gerlai, 2015, 2016). Sin embargo, nunca se ha sometido a prueba la capacidad de discriminar entre grupos tras un intervalo de retención de 30 segundos. Este nuevo procedimiento hace que aumente mucho la demanda para la memoria de trabajo, requiriendo que durante este período de tiempo los sujetos representen mentalmente y comparen las cantidades así como su localización espacial.

El objetivo del presente estudio es, por tanto, investigar si el pez ángel es capaz de discriminar entre grupos de su misma especie pero de diferente tamaño numérico

ante una alta demanda para la memoria de trabajo. Los resultados permitirán relacionarlos con otros estudios de discriminación de cantidades que han estudiado el mismo fenómeno, pero exigiendo menor carga de memoria, o incluso con estudios en los que los estímulos estaban a la vista en el momento de la elección. Esto posibilitará un mejor conocimiento del papel de la memoria de trabajo en la discriminación de cantidades. La finalidad última es avanzar en el entendimiento de las capacidades numéricas en vertebrados, y aportar evidencia sobre las raíces evolutivas de esta capacidad que, se ha hipotetizado, constituye el origen ontogenético y filogenético de las altas capacidades numéricas presentes en los humanos.

2.- Materiales y métodos

2.1.- Sujetos

Se utilizaron peces ángel juveniles de 3.0 – 3.3 cm, obtenidos de proveedores locales. Solamente se estudiaron peces juveniles para eliminar cualquier efecto derivado de la conducta sexual que pudiera afectar a los patrones registrados. Se alojó a los peces, en grupos de 20 individuos, en acuarios de cristal de 70 litros (60 cm x 30 cm x 40 cm de profundidad) llenados con agua de clorinada. Tanto a los peces que se utilizarían en las pruebas (peces de prueba: los sujetos observados durante los ensayos) como a los peces de estímulo (los que servirían para elicitación de la conducta de los peces de prueba) se los alojó aleatoriamente en diferentes acuarios, imposibilitando cualquier comunicación visual u olfatoria.

La temperatura de los acuarios se mantuvo constante a $26 \pm 1^\circ\text{C}$ mediante el uso de termostatos. Los acuarios se iluminaron mediante un tubo fluorescente de 15W colocado 20 cm por encima, y la iluminación se mantuvo en un régimen de 12:12 h luz:oscuridad. Se comprobó el nivel de pH del agua semanalmente para controlar que se mantuviera en los rangos ideales para el pez ángel. El alimento se proporcionó a los peces dos veces al día, a las 10:00 y a las 18:00 horas, con comida comercial para cíclidos suministrada en la superficie del agua. Filtros externos limpiaron el agua constantemente y se permitió que los sujetos se aclimataran a estas condiciones del laboratorio al menos durante 2 semanas.

2.2.- Aparato experimental

El aparato experimental para examinar la preferencia espontánea de los sujetos en las pruebas de elección binaria estuvo constituido por tres acuarios (Fig.1). Un acuario central, que denominaremos en adelante acuario de prueba, flanqueado en cada uno de sus extremos por los acuarios de estímulo (donde se situarían los peces de estímulo durante las pruebas). El acuario de prueba era idéntico en todos los aspectos a los acuarios de mantenimiento, donde inicialmente se alojaron los peces, y fue mantenido bajo las mismas condiciones que aquéllos. Los otros dos acuarios, donde se colocarían a los peces de estímulo durante las pruebas, fueron más pequeños (30 cm x 30 cm x 40 cm de profundidad) y también se los mantuvo bajo las mismas condiciones. Una lámina opaca de plástico blanco delimitó en los acuarios de estímulo un compartimento de 10 cm en los lados más cercanos al acuario de prueba de tal forma que al colocar a los peces estímulo dentro de este pequeño compartimento fuesen siempre visibles por el pez de prueba. Una lámina opaca adicional de plástico blanco dividió este compartimento en dos mitades iguales de 10 x 15 cm cada una (Fig. 1).

Exceptuando el cristal frontal a través del cual se observó a los peces, y los cristales laterales que permitieron el contacto visual entre el pez de prueba y los peces estímulo, el resto de paredes de los acuarios se cubrieron con poliestireno blanco. Esto se hizo para prevenir a los sujetos de la posible influencia de cualquier tipo de estímulo externo que pudiese alterar su conducta.

Para facilitar la observación del movimiento del pez de prueba, se trazaron 5 líneas verticales en la pared frontal y posterior del acuario de prueba de tal manera que lo dividieron en 6 zonas iguales de 10 cm cada una. Las dos zonas de 10 cm más próximas a los acuarios de estímulo se designaron como zonas de preferencia (Figura 1).

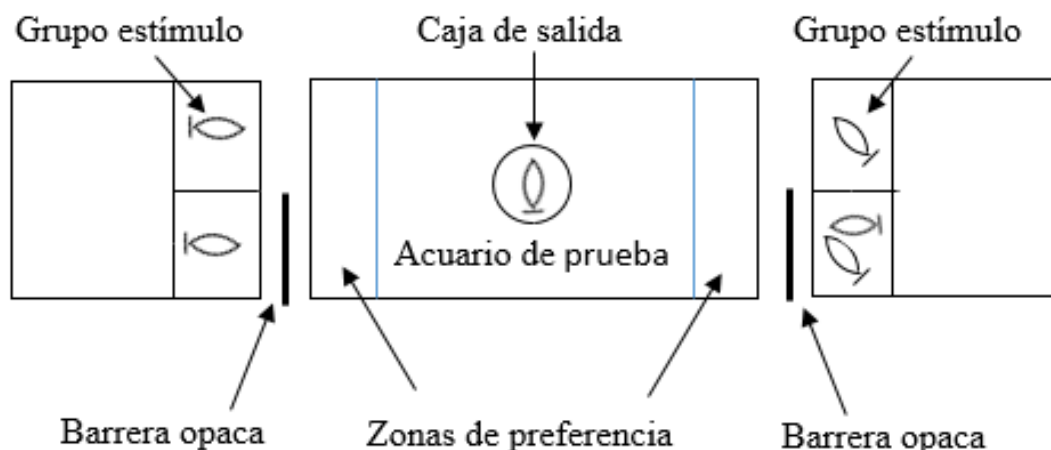


Figura 1. El aparato experimental con el ejemplo de la comparación 2 versus 3. Se puede observar el tanque experimental en el centro y los dos tanques estímulo en los laterales de éste. En los tanques estímulo se utilizaron barreras opacas para delimitar un compartimento de 10 cm, colindante con el tanque experimental, en el que se colocó al grupo de peces estímulo. De esta manera se aseguró una buena visibilidad de éstos por parte del pez de prueba. Una barrera opaca adicional dividió ambos compartimentos en dos partes iguales, en una mitad se colocó a un pez ángel estímulo en solitario y en la otra mitad el resto de peces del grupo estímulo. Durante los experimentos, dos barreras opacas adicionales, situadas en ambos espacios entre el acuario de prueba y los acuarios estímulo, ocultaron los grupos de peces estímulo durante 30 segundos. Tras este período, las barreras se desplazaron dejando visible tan solo al pez solitario de cada grupo de peces estímulo. Inmediatamente se liberó el pez de prueba del cilindro central para que nadara libremente por el acuario de prueba. Se registró en qué zona de preferencia (zona de 10 cm más cercana a cada acuario estímulo) el pez de prueba estuvo más tiempo y en cuál entró primero.

2.3.- Procedimiento

En cada ensayo se sometió a los peces individualmente a una prueba de elección binaria. Los sujetos debían elegir entre dos grupos de peces estímulo de diferente tamaño numérico presentados simultáneamente en los acuarios de estímulo. En cada ensayo, los peces estímulo se cogieron al azar del acuario donde se alojaban y se colocaron en la parte frontal (la visible por el observador) del compartimento correspondiente de los acuarios de estímulo. Un pez de cada uno de los grupos de estímulo se colocó en solitario en la parte del compartimento más lejana al observador. Para controlar el posible efecto derivado de la posición del grupo grande/pequeño en uno de los lados del tanque de prueba, en el primer ensayo se eligió al azar la posición del grupo grande y luego se fue contrabalanceando su posición a lo largo de los diferentes ensayos.

Una vez que los peces de estímulo se habían transferido y colocado en el aparato experimental, se procedió a situar el pez de prueba. Éste se seleccionó al azar de su correspondiente acuario de alojamiento y se transfirió, cuidadosamente al acuario de prueba. Aquí se le introdujo en un cilindro transparente ('starting box') de 7 cm de diámetro abierto en sus extremos, y situado en el centro del acuario, donde se le mantuvo durante 3 min. Durante este período, el sujeto podía visualizar ambos grupos de congéneres desde el interior del cilindro. Se tuvo la precaución de observar que el pez de prueba se orientase hacia ambos grupos antes de pasar a la siguiente fase.

Después de estos 3 min, se colocaron barreras de plástico opaco entre el acuario de prueba y los acuarios de estímulo, de tal manera que se interrumpió el contacto visual entre el pez de prueba y los grupos estímulo durante 30 s. Transcurridos los 30 s (intervalo de retención) se retiraron parcialmente las barreras, de modo que tan solo fuera visible para el pez prueba un pez estímulo de cada grupo de peces (el situado en la parte del compartimento más lejana al observador, Figura 1). Inmediatamente se levantó el cilindro transparente liberando, así, al pez de prueba para que nadara libremente. Si el pez de prueba recuerda el grupo mayor y su localización, la expectativa consistió en que se acercaría preferentemente a la zona donde anteriormente había visto a tal grupo. Se observó la primera elección del pez de prueba (zona de preferencia en la que primero entraba). Además, se registró la conducta del pez de prueba durante 15 min y se observó el tiempo total que pasaba en cada una de las zonas de preferencia; es decir, en las dos zonas de 10 cm más próximas a los acuarios de estímulo. Se registró la conducta de los sujetos mediante grabación, utilizando una videocámara (Sony video Hi8, modelo CCD-TR750E) situada detrás de una cortina opaca donde también se encontraba el observador. Cada pez se sometió a la prueba una sola vez y cada uno de ellos se expuso a grupos de peces estímulo conformados por individuos diferentes. Ninguno de los peces estímulo fue utilizado como pez de prueba. Para evitar cualquier huella química, después de cada ensayo se limpió el acuario de prueba antes de ser llenado de nuevo con agua declorinada.

Inicialmente se llevó a cabo un tratamiento de control consistente en que en uno de los acuarios de estímulo se presentaron 4 peces, mientras en el acuario opuesto no se presentó ningún pez. Mediante este tratamiento se trataba de investigar si el procedimiento era adecuado y si el pez ángel era capaz de recordar, después de 30 s, la localización donde el único grupo de peces presentado había sido visto con anterioridad. Una ejecución adecuada permitiría demostrar que el pez ángel posee la capacidad de llevar a cabo una discriminación numérica ante una demanda de 30 s para la memoria de trabajo. En este grupo de control, a diferencia de los demás, una vez levantado el cilindro de salida, el pez de prueba no veía ningún pez en ninguno de los acuarios de estímulo. Se esperaba que si había mantenido en la memoria durante 30 s la localización del único grupo previamente presentado, se acercaría a la zona de preferencia donde le había visto. El número de sujetos sometidos a esta prueba fue de 13 ($n = 13$).

Posteriormente, se investigó la respuesta del pez ángel cuando se le confrontó con dos grupos de estímulo de tamaño numérico diferente, presentados simultáneamente en cada uno de los acuarios de estímulo. Los experimentos implicaron contrastes dentro del rango de números pequeños: 1 versus 2 y 2 versus 3, así como contrastes en el que al menos un grupo (o los dos) estaba dentro del rango de números grandes: 1 versus 4 y 4 versus 8 peces. El número de peces diferentes empleados en cada uno de los cuatro contrastes fue de 12 ($n = 12$), lo que hace un total de 48 peces sometidos a prueba.

2.4.- Análisis estadístico

El tiempo pasado (en segundos) en las dos zonas de preferencia se consideró una medida de la preferencia social por un estímulo particular de cada pez de prueba. Se calculó un índice de preferencia para cada sujeto, que se definió como la proporción de tiempo pasado en la proximidad del grupo de estímulo más numeroso. Para esto se dividió el tiempo pasado en la zona de preferencia próxima al estímulo numéricamente mayor entre el total del tiempo pasado en las dos zonas de preferencia. Es decir, la suma de tiempo pasado dentro de los 10 cm más próximos a cada grupo de estímulo. Las puntuaciones próximas a 1 indican una preferencia por el grupo más numeroso, mientras que las puntuaciones próximas a 0 indican una preferencia por el grupo numéricamente más pequeño. Los índices de preferencia se sometieron a prueba contra la hipótesis nula de no preferencia (0.5) utilizando la t de Student para una muestra. En estas pruebas, se empleó el método de corrección secuencial de Holm-Bonferroni para minimizar el error de tipo I, considerándolas todas ellas en conjunto en una misma familia.

Se analizó también el efecto de los tratamientos sobre la preferencia de elección, es decir, si existía diferencia significativa entre los tratamientos que habían discriminado el grupo más numeroso de los que no lo hicieron. Con este fin, inicialmente comparamos por separado, con ANOVA de un factor, la magnitud de la preferencia entre los tratamientos que habían tenido éxito en la discriminación y por otro lado para los que no mostraron discriminación. Puesto que se trataba de dilucidar si existían diferencias significativas en la magnitud de la preferencia entre los tratamientos que discriminaron de los que no discriminaron, posteriormente, se empleó también un ANOVA de un factor con el fin de determinar la existencia de diferencias significativas entre ambos grupos.

Asimismo, se analizó el número de sujetos cuya primera elección fue la zona de preferencia próxima al grupo más numeroso y se examinó si este número difería significativamente del azar. Para esto, igual que en la preferencia de elección, se agruparon por un lado los tratamientos que discriminaron y por otro los que no lo hicieron. En cada uno de estos grupos se realizó una prueba de chi-cuadrado.

El análisis de la actividad natatoria durante la prueba entre los diferentes grupos se analizó también utilizando ANOVA de un factor para muestras independientes.

3.- Resultados

En el grupo de control (0 versus 4), los sujetos, mostraron una clara preferencia por permanecer en la zona adyacente al acuario de estímulo que contenía el grupo de 4 peces, aun cuando en el momento de la elección no visualizaban ningún pez. La prueba t de una muestra con la corrección de Holm-Bonferroni, reveló una preferencia significativa por esa zona en relación con una elección aleatoria ($t_{(12)} = 3.240$, $p = .003$, d de Cohen = 0.9; Figura 2). Así, concluimos que los peces ángel son capaces de realizar una discriminación de cantidades bajo una exigencia para la memoria de trabajo de 30 s. Este resultado mostró la viabilidad del procedimiento.

Los peces ángel, sin embargo, no exhibieron preferencia significativa por ninguno de los dos grupos de estímulo cuando los contrastes estaban dentro del rango de números pequeños; es decir, cuando consistieron en 1 versus 2 y 2 versus 3 ($t_{(11)} = 0.069$, $p = .94$, d de Cohen = 0.019; $t_{(11)} = 1.900$, $p = .084$, d de Cohen = 0.548; respectivamente, Figura 2). Estos resultados contrastan con los obtenidos, en los otros dos grupos, en los que al menos uno de ellos estaba en el rango de números grandes. En

estos casos, los peces ángel permanecieron significativamente más tiempo en la zona próxima a donde los sujetos habían visto previamente al grupo numéricamente mayor en relación con el otro extremo donde los sujetos habían visto el grupo menos numeroso. Esto ocurrió tanto en las comparaciones entre 1 versus 4 ($t_{(11)} = 2.680$, $p = .031$, d de Cohen = 0.774) como en las comparaciones entre 4 versus 8 ($t_{(11)} = 3.267$, $p = .016$, d de Cohen = 0.943; Figura 2). Asimismo, un análisis adicional mostró que no existieron diferencias significativas en la magnitud de la preferencia entre los tratamientos que discriminaron el grupo más numeroso ($F_{(2, 34)} = 0.30$, $p > .05$), y que tampoco existieron entre los que fallaron en la discriminación ($F_{(1, 22)} = 1.16$, $p > .05$). Estos resultados posibilitaron la agrupación de los tratamientos en dos grupos: los que mostraron discriminación y los que no la mostraron. ANOVA de un factor comparando estos grupos reveló la existencia de diferencias significativas en la magnitud de las preferencias entre los que discriminaron el grupo más numeroso (4 versus 8, 1 versus 4 y 0 versus 4) y los que fallaron en la discriminación (1 versus 2 y 2 versus 3) ($F_{(1,59)} = 4.790$, $p = .03$, $\eta^2 = 0.075$). Este resultado indica que la diferencia numérica entre los grupos de contraste jugó un papel importante en la preferencia.

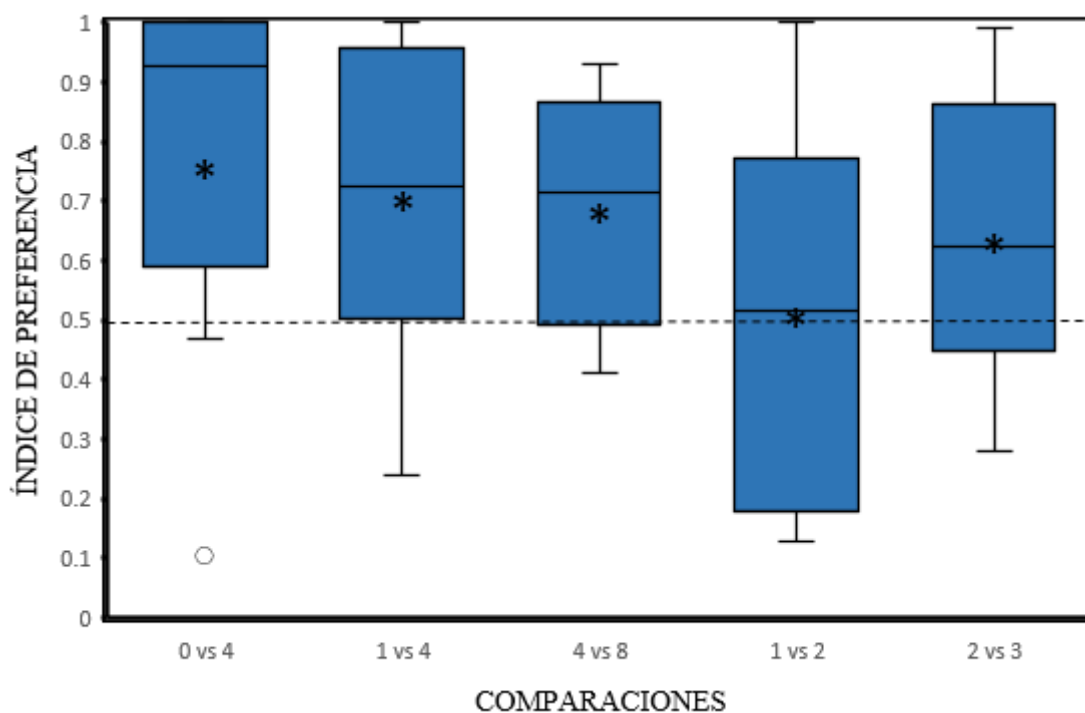


Figura 2. Boxplot mostrando las preferencias por el grupo más numeroso en los diferentes contrastes sometidos a prueba. La línea de trazos indica la probabilidad aleatoria, y los valores por encima de 0.5 indican preferencia por el grupo mayor. Las cajas muestran la mediana, el primer cuartil y el tercer cuartil. En cada contraste se muestran también los valores máximos y mínimos. Los asteriscos representan la media aritmética del índice de preferencia por la zona próxima al grupo mayor. El círculo indica un valor atípico (outlier).

El análisis de la primera elección de los peces de prueba (primera zona de preferencia en la que entraban), después de agrupar los que discriminaron y los que no lo hicieron, mostró que en ningún caso el número de sujetos cuya primera elección fue la zona próxima al grupo mayor difirió significativamente del azar (prueba Chi-cuadrado: $p > .05$; véase Tabla 1). De la misma manera, los resultados obtenidos con los sujetos que prefirieron el grupo más numeroso indicaron que el número de peces cuya primera elección fue el grupo de mayor tamaño fue no significativo ($\chi^2_{(1, N=37)} = 3.270$, $p = .074$).

Por último, las diferencias encontradas en la preferencia entre los grupos no pueden atribuirse a diferencias en la actividad natatoria entre los miembros de los diferentes tratamientos ya que un ANOVA de un factor reveló que no existía diferencia significativa entre las diferentes condiciones en este parámetro ($F_{(4,56)} = 2.477, p > .05$; Tabla 1).

Grupo	Contrastes	Actividad locomotora ^a	Primera elección ^b		Chi-cuadrado
		Media \pm ET	Grupo mayor	Grupo menor	
1	0 vs. 4	55.08 \pm 26.27	8	5	} $\chi^2(1, N = 37) = 3.27$ $p = .074$
2	1 vs. 4	25.33 \pm 4.16	8	4	
3	4 vs. 8	40.17 \pm 7.97	9	3	
4	1 vs. 2	54.33 \pm 10.06	4	8	} $\chi^2(1, N = 24) < 0.01$ $p = .99$
5	2 vs. 3	100.00 \pm 24.65	8	4	

Nota. Los resultados de la prueba de chi-cuadrado hacen referencia a las agrupaciones de los grupos 1, 2 y 3, así como 4 y 5.

^a Número de ocasiones (frecuencia) en las que el pez de prueba cruzó una de las 5 líneas dibujadas en las paredes del acuario. Se indica la media y el error típico de la media. No existieron diferencias significativas entre los diferentes contrastes en esta medida (véase texto para más detalles).

^b Número de peces cuya primera elección fue el grupo más numeroso y el grupo numéricamente más pequeño.

Tabla 1. Comportamiento del pez ángel ante los diferentes contrastes.

4.- Discusión y conclusiones.

En el presente estudio investigamos si el pez ángel era capaz de realizar discriminaciones entre cantidades cuando la demanda para la memoria de trabajo es alta. Los resultados demuestran que, en efecto, el pez ángel es capaz de realizar discriminaciones entre distintas cantidades ante una demanda de 30 s para la memoria de trabajo. Este período de tiempo representa la mayor demanda de memoria exigida al pez ángel en estudios de este tipo realizados hasta el presente.

Los resultados del experimento inicial (0 versus 4 peces) mostraron que el protocolo experimental y las exigencias de demanda de memoria impuestas eran adecuados para el pez ángel. Los sujetos exhibieron capacidad para utilizar la memoria de trabajo y retener información relativa a la cantidad y a la localización de estímulos relevantes tras un intervalo de retención de 30 s. La resolución satisfactoria de esta tarea sugiere que el pez ángel no solo es capaz de realizar discriminaciones cuando los estímulos se hallan presentes (e.g., Gómez-Laplaza, 2005), como también se ha demostrado en otras especies de peces (e.g., Agrillo et al., 2008), sino que además también es capaz de formar representaciones mentales de cantidades, retenerlas en la memoria, comparar las diferencias existentes y localizarlas espacialmente.

A partir de estos resultados, el núcleo de la experimentación consistió esencialmente en tratar de examinar los límites de la discriminación y si ésta era dependiente de la utilización de grupos grandes y pequeños. Así, la ratio entre los tamaños numéricos de estos grupos también mostró ser un factor fundamental en la ejecución de los sujetos. Cuando se sometió a prueba la discriminación entre 1 pez versus 4 peces, los sujetos discriminaron adecuadamente y prefirieron el grupo más numeroso. Asimismo, realizaron con éxito la tarea y eligieron asociarse con el grupo mayor cuando los contrastes consistieron en 4 peces versus 8 peces. Es interesante señalar que las ratios entre estas cantidades consistieron en 1:4 y 1:2, respectivamente.

La discriminación adecuada de una ratio tan pequeña (1:2) es un hallazgo notable de la presente investigación dada la complejidad de la tarea propuesta para esta especie. Es necesario enfatizar que la prueba implicaba la interacción entre discriminación de cantidades, memoria de trabajo y localización espacial.

Los resultados contrastan con los obtenidos cuando las comparaciones fueron entre grupos de tamaño numérico considerado dentro del rango pequeño; es decir, los que consistieron en 1 pez versus 2 peces y 2 peces versus 3 peces. En ambos tipos de comparaciones los sujetos fallaron en la discriminación. Estos hallazgos son, en cierta medida, sorprendentes puesto que en trabajos anteriores los mismos contrastes fueron siempre discriminados por el pez ángel tanto con plena visión de los estímulos (Gómez-Laplaza & Gerlai, 2011), como con intervalos de retención menores a los del presente estudio (Gómez-Laplaza & Gerlai, 2016) y muestran la complejidad de la tarea propuesta. El fallo en la discriminación entre 1 versus 2 es de particular interés porque representa una razón de 1:2 que sí fue discriminada en el presente estudio cuando los grupos eran más numerosos (4 vs. 8). Por tanto, los resultados no reflejan en sentido estricto la ley de Weber y sugieren la existencia de sistemas cognitivos de discriminación diferentes para cantidades grandes y pequeñas. No obstante, futura investigación en la que se someta a prueba un número mayor de contrastes, tanto en el rango de cantidades grandes como pequeñas, es necesaria antes de sacar conclusiones definitivas.

La disparidad entre los resultados cuya ratio fue de 1:2 (1 vs. 2 y 4 vs. 8) se puede explicar si atendemos a la distinta saliencia que presumiblemente presentaban los estímulos (véase Agrillo, Miletto Petrazzini, & Bisazza, 2016). Ante la alta exigencia para la memoria de trabajo, la saliencia del estímulo pudo cobrar una relevancia que no se había encontrado en estudios previos. Así, en la comparación de 4 versus 8, la diferencia entre un pez solitario junto a 7 peces agrupados pudo representar un estímulo más fuerte y fiable que en el caso de un pez solitario junto a 3 agrupados. Por otra parte, en la comparación entre 1 versus 2, la diferencia consistió en un pez solitario versus 2 peces solitarios. Generalmente, los peces en solitario muestran una actividad locomotora menor que cuando se encuentran en grupo, lo cual pudo representar una diferencia entre estímulos mucho más débil y presumiblemente de menor relevancia para el sujeto.

En una situación de peligro potencial en la que el pez de prueba necesita protección, es posible que el sujeto almacene en la memoria el volumen y/o densidad del grupo, con independencia del número de peces estímulo, porque estas variables continuas suelen ser buenos indicadores del tamaño del mismo. En otros estudios se ha comprobado que manteniendo constante el volumen ocupado por los grupos estímulo, los peces de prueba no muestran una preferencia significativa por el grupo mayor (Agrillo et al., 2008). Por tanto, en nuestra situación un grupo de 7 peces moviéndose libremente muestra características que aportan una gran saliencia al grupo, en tanto que la situación que presentan los peces aislados (como en el grupo de 2 peces en el contraste 1 versus 2) presumiblemente no es tan saliente, haciéndose menos relevante. Es concebible que ante la demanda de memoria el sujeto tan solo sea capaz de retener estímulos muy salientes, cobrando esta variable una relevancia fundamental en la toma de decisiones.

Recientemente se ha sugerido que la retención de información numérica supone una mayor demanda cognitiva, en comparación con la retención de variables continuas (Agrillo et al., 2016). De esta manera las variables continuas serían indicadores más rápidos y sencillos de la cantidad. Bajo esta hipótesis la discriminación se facilitaría cuando los estímulos presentan información perceptiva redundante lo que puede contribuir a hacer la información que proporcionan más clara y fidedigna. Por el

contrario, cuando la información de los estímulos es más débil, como cuando la distancia numérica entre los grupos es menor, la discriminación se hace más difícil. Así, en el caso de los números grandes, el éxito en la comparación cuando los estímulos difieren en una proporción de 1:2 se puede atribuir a una percepción clara de las diferencias entre estímulos y su consiguiente retención en la memoria. A la fuerza y claridad de la señal y a la redundancia de la misma pueden contribuir las variables continuas que covarían con el número (revisado en Cordes & Brannon, 2008). En el presente estudio, durante el período previo a la prueba, los sujetos vieron los grupos de estímulo moviéndose libremente. Así, la actividad natatoria, la densidad, volumen, superficie acumulada de los grupos de estímulo, o de los peces de estímulo individuales y otras variables potenciales pudieron afectar decisivamente la elección. Cualquiera de estas variables continuas pudo contribuir a la claridad de la señal del estímulo (saliencia); es decir, a aumentar el contenido informativo del estímulo empleado, y consecuentemente facilitar la discriminación. Futuros experimentos son necesarios para desentrañar los efectos de estas variables bajo las condiciones presentes.

El fallo en la discriminación de los contrastes 1 versus 2 y de 2 versus 3, se confirma al considerar que la primera elección que realizaron los sujetos fue aleatoria. Es plausible que, al no haber diferencias muy salientes, las diferencias, aunque pudieran haberlas percibido, no fueran relevantes en términos de ventaja adaptativa para el pez ángel. Estas respuestas parecen estar relacionadas con la ecología conductual de cada especie. Así, otras especies poseen la capacidad para discriminar entre cantidades que difieren en un número pequeño de unidades, tras variables períodos de tiempo. Este es el caso de aves como los carboneros, los cascanueces y los petirrojos que esconden comida perecedera (generalmente insectos y lombrices) en lugares dispersos para su recuperación posterior. Su supervivencia depende en gran medida de tal recuperación de alimento, y experimentos de laboratorio han mostrado la capacidad que poseen para priorizar escondrijos en función de la cantidad de alimento almacenado y su grado de temporalidad en buenas condiciones (e.g., Hunt, Low, & Burns, 2008; Tornick, Callahan, & Gibson, 2015). Esta alta capacidad para discriminar cantidades y su impresionante memoria espacial está, sin duda, relacionada con su ecología de almacenamiento en distintos lugares de diferentes cantidades de recursos, y su recuperación posterior bajo diferentes condiciones ambientales. Asimismo, estudios con chimpancés han demostrado que estos animales poseen una memoria muy precisa durante períodos de tiempo prolongados (20 min) para diferencias cuantitativas entre grupos de ítems (Beran & Beran, 2004).

Diferentes especies, sin embargo, tienen que enfrentarse a diferentes retos ecológicos y, por tanto, es posible que no hayan evolucionado las mismas capacidades de memoria para cantidades y/o información espacial. Por ejemplo, el pez ángel bajo condiciones naturales no guarda el alimento para su posterior recuperación. Posiblemente, las presiones de selección tampoco han favorecido la evolución en el pez ángel de las habilidades necesarias para la retención en la memoria visual durante mucho tiempo de la localización del grupo más numeroso, principalmente cuando las diferencias entre los grupos son tan pequeñas. Este hecho se acentúa si, como en nuestro caso, los sujetos pueden visualizar durante la prueba algún pez estímulo al que acercarse. De acuerdo con esta idea, solamente cuando existe una gran diferencia en la saliencia de los estímulos los sujetos realizan la discriminación con éxito.

En el presente estudio no se encontraron diferencias significativas en el número de peces cuya primera elección fue el grupo mayor. No obstante, una tendencia hacia este patrón emergió, aunque no fue significativa. Este resultado contrasta con los encontrados en estudios anteriores (e.g., Gómez-Laplaza & Gerlai, 2016) y puede

atribuirse, de nuevo, al mayor intervalo de retención impuesto. La permanencia en el cilindro de salida durante 30 segundos pudo incrementar el nivel de estrés/ansiedad de los sujetos. En consecuencia, la respuesta inicial que pudo tomar prioridad en algunos sujetos tras la liberación pudo ser la de dirigirse a cualquier compañero visible en búsqueda de protección, sin recurrir a la memoria de trabajo. Tras la reacción inicial, el pez fue aparentemente capaz de utilizar la memoria de trabajo para acercarse al grupo mayor. Intervalos de retención mayores son necesarios para confirmar o refutar esta hipótesis.

Resumiendo, este estudio confirma el uso de representaciones mentales por parte del pez ángel y la capacidad de discriminación ante una alta demanda para la memoria de trabajo. Los hallazgos concuerdan con los obtenidos en estudios anteriores, respecto a las capacidades cognitivas de esta especie. Además, allanan el camino para futuras líneas de investigación, tales como el control de variables continuas o el aumento del intervalo de retención. Asimismo confirma que, puesto que los peces son un grupo animal evolutivamente muy antiguo y el más simple de los vertebrados poseen numerosos rasgos que se han conservado a través de múltiples niveles de organización biológica, y que esta especie representa una herramienta excelente para el análisis de los mecanismos mnemónicos y cognitivos básicos, incluyendo los rasgos que subyacen a la discriminación numérica.

Notas:

(1) Los experimentos que se han descrito cumplen con las leyes españolas vigentes en cuanto al tratamiento y cuidado de animales de experimentación.

(2) Esta investigación fue realizada con la ayuda del proyecto PSI2013-40768-P del Ministerio de Economía y Competitividad concedido a Luis M. Gómez-Laplaza

5.- Referencias

- Agrillo, C., Dadda, M., Serena, G., & Bisazza, A. (2008). Do fish count? Spontaneous discrimination of quantity in female mosquitofish. *Animal Cognition*, *11*, 495-503.
- Agrillo, C., Miletto Petrazzini, M. E., & Bisazza, A. (2016). Number versus continuous quantities in lower vertebrates. En A. Henik (Ed.), *Continuous issues in numerical cognition: How many or how much* (pp. 149-174). San Diego: Academic Press.
- Beran, M. J., & Beran, M. M. (2004). Chimpanzees remember the results of one-by-one addition of food items to sets over extended time periods. *Psychological Science*, *15*, 94-99.
- Cantlon, J. F., & Branon, E. M. (2006). Shared system for ordering small and large numbers in monkeys and humans. *Psychological Science*, *17*, 401-406.
- Carey, S. (2001). Cognitive foundations of arithmetic: evolution and ontogenesis. *Mind and Language*, *16*, 37-55.
- Carey, S. (2009). Where our number concepts come from. *The Journal of Philosophy*, *106*, 220.

- Cordes, S., & Brannon, E. M. (2008). Quantitative competences in infancy. *Developmental Science*, *11*, 803-808.
- Cordes, S., & Brannon, E. M. (2009). The relative salience of discrete and continuous quantity in young infants. *Developmental Science*, *12*, 453-463.
- Cox, L., & Montrose, V.T. (2016). Quantity discrimination in domestic rats, *Rattus norvegicus*. *Animals*, *6*, 46. doi:[10.3390/ani6080046](https://doi.org/10.3390/ani6080046).
- Dehaene, S. (2009). Origins of mathematical intuitions. *Annals of the New York Academy of Sciences*, *1156*, 232-259.
- Dehaene, S. (2011). *The number sense: How the mind creates mathematics*. Oxford University Press, Oxford.
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, *8*, 307-314.
- Gómez-Laplaza, L. M. (2005). The influence of social status on shoaling preferences in the freshwater angelfish (*Pterophyllum scalare*). *Behaviour*, *142*, 827-844.
- Gómez-Laplaza, L. M., & Gerlai, R. (2011). Can angelfish (*Pterophyllum scalare*) count? Discrimination between different shoal sizes follows Weber's law. *Animal Cognition*, *14*, 1-9.
- Gómez-Laplaza, L. M., & Gerlai, R. (2015). Angelfish (*Pterophyllum scalare*) discriminate between small quantities: a role of memory. *Journal of Comparative Psychology*, *129*, 78-83.
- Gómez-Laplaza, L. M., & Gerlai, R. (2016). Discrimination of large quantities: Weber's law and short-term memory in angelfish, *Pterophyllum scalare*. *Animal Behaviour*, *112*, 29-37.
- 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*, 1457-1465.
- Hauser, M. D., & Spelke, E. (2004). Evolutionary and developmental foundations of human knowledge: A case study of mathematics. En M. Gazzaniga (Ed.), *The Cognitive Neurosciences*, Vol. 3 (pp. 853-864). Cambridge: MIT Press.
- Hunt, S., Low, J., & Burns, J. C. (2008). Adaptive numerical competency in a food-hoarding songbird. *Proceedings of the Royal Society of London B*, *275*, 2373-2379.
- Krusche, P., Uller, C., & Dicke, U. (2010). Quantity discrimination in salamanders. *Journal of Experimental Biology*, *213*, 1822-1828.
- Miletto Petrazzini, M. E., & Agrillo, C. (2016). Turning to the larger shoal: are there individual differences in small-and large-quantity discrimination in guppies? *Ethology Ecology & Evolution*, *28*, 211-220.

- Pepperberg, I. M., & Carey, S. (2012). Grey parrot number acquisition: The inference of cardinal value from ordinal position on the numeral list. *Cognition*, *125*, 219-232.
- Praetorius, W. (1932). How the “king” lives at home. *The Aquarium*, *1*, 119-120, 141.
- Rugani, R., Regolin, L., & Vallortigara, G. (2008). Discrimination of small numerosities in young chicks. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *34*, 388–399.
- Tornick, J. K., Callahan, E. S., & Gibson, B. M. (2015). An investigation of quantity discrimination in Clark’s nutcrackers (*Nucifraga columbiana*). *Journal of Comparative Psychology*, *129*, 17-25.
- Uller, C., Jaeger, R., Guidry, G., & Martin, C. (2003). Salamanders (*Plethodon cinereus*) go for more: rudiments of number in an amphibian. *Animal Cognition*, *6*, 105-112.
- Uller, C., & Lewis, J. (2009). Horses (*Equus caballus*) select the greater of two quantities in small numerical contrasts. *Animal Cognition*, *12*, 733-738.
- Vallortigara, G. (2015). Foundations of number and space representations in non-human species. En D. C. Geary, D. B. Berch, & K. M. Koepke (Eds.), *Evolutionary origins and early development of number processing* (pp. 35–66). New York: Academic Press.