

## ¿CÓMO APRENDEMOS LOS NÚMEROS?

Matilla, L., Sánchez, R.<sup>1</sup>, Orrantia, J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Departamento de Psicología Evolutiva y de la Educación, Universidad de*

*Salamanca* lauramatilla@usal.es

mariarosario@usal.es

orrantia@usal.es

### Resumen

Los bebés, los niños, los adultos e incluso los animales son capaces de entender y manipular magnitudes numéricas por medio de representaciones no simbólicas. Hasta la fecha, el campo de la cognición numérica se ha decantado por la idea de que los números simbólicos adquieren su significado proyectándose en las representaciones aproximadas que tenemos de los mismos (sistema numérico aproximado). Sin embargo, en los últimos años ha emergido un nuevo grupo de trabajos en los que se pone en duda esta afirmación y actualmente se ha propuesto una hipótesis alternativa que defiende la existencia de un sistema simbólico independiente basado en las asociaciones símbolo-símbolo. Por tanto, resulta imprescindible que se sigan llevando a cabo estudios en este campo que nos permitan aclarar esta disyuntiva.

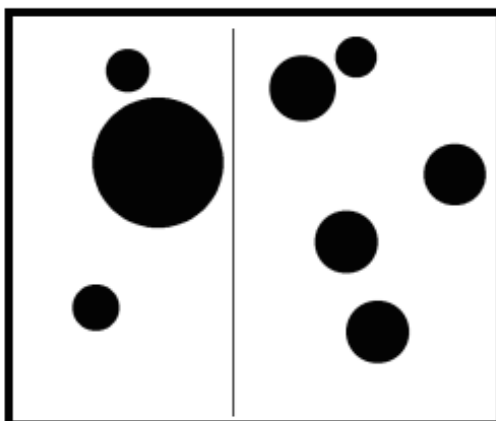
**Palabras clave:** sistema numérico aproximado, sistema numérico exacto, subitizing, simbólico, no simbólico

## 1. SISTEMA NUMÉRICO APROXIMADO (SNA)

Para poder vivir de una manera satisfactoria y estar adaptados a nuestra sociedad y entorno, es fundamental que seamos capaces de manejar, interpretar, comparar y calcular con números y cantidades numéricas. Por tanto, es para muchos investigadores, el objeto principal de su trabajo entender las diferencias individuales que existen en este proceso. En las últimas décadas se ha puesto de manifiesto que la competencia para procesar magnitudes no depende del lenguaje y la educación, sino que sus bases biológicas son primitivas. Se ha demostrado ampliamente como veremos más adelante, que los bebés vienen dotados de un sistema innato que les permite representar, discriminar y operar con numerosidades de una manera aproximada e inexacta. Este sistema recibe el nombre de sistema numérico aproximado (en adelante, SNA) y opera independientemente de las representaciones simbólicas de las magnitudes que nos otorga la cultura (números arábigos y palabras numéricas).

El SNA obedece a la Ley de Weber, es decir, cuanto mayor es la numerosidad, más aproximado es su procesamiento. Esto es, el SNA se hace más impreciso a medida que incrementa su numerosidad. Actualmente, se utiliza la Fracción de Weber ( $w$ ) como índice de agudeza del SNA y es la diferencia mínima que ha de haber entre dos cantidades para que pueda determinarse cuál de ellas es mayor en una tarea de comparación de magnitudes.

La tarea clásica que se ha utilizado para evaluar la capacidad que poseemos para comparar magnitudes no simbólicas es aquella en la que se presentan dos conjuntos de puntos con distintos tamaños y densidades, y el participante tiene que decidir dónde hay más puntos (véase Figura 1).



**Figura 1.** Tarea de comparación de magnitudes no simbólicas. El participante debe decidir en qué lado de la pantalla hay más puntos.

Como veremos más adelante, este sistema aproximado e innato, es fundamental a la hora de procesar magnitudes, comparar numerosidades, e incluso realizar cálculos matemáticos exactos. Por tanto, a priori, éste es un sistema muy importante sobre el que se van a asentar los números simbólicos (palabras numéricas y números arábigos).

### 1.1. SNA en animales no humanos

Mientras que ciertas habilidades como la lectura y la escritura son exclusivamente humanas y además resultan de una historia cultural y la invención de los sistemas de escritura, se ha encontrado que animales no humanos poseen capacidades básicas de procesamiento numérico. Es más, mucho de lo que sabemos sobre nuestra capacidad para representar y procesar magnitudes numéricas, proviene de los estudios realizados con animales no

humanos. Trabajos llevados a cabo con una gran variedad de animales han revelado que al igual que los bebés humanos, los animales también pueden discriminar entre cantidades numéricas (Geary, Berch, y Mann Koepke, 2015). Muchos experimentos han puesto de manifiesto que la capacidad de estimar y discriminar entre numerosidades no numéricas está presente en pájaros (Bogale, Kamata, Mioko, y Sugita, 2011; Watanabe, 1998), peces (Agrillo, Dadda, Serena, y Bisazza, 2008, 2009), roedores (Meck y Church, 1983), leones (McComb, Packer, y Pusey, 1994) y primates (e.g., Cantlon y Brannon, 2006; Nieder, Freedman, y Miller, 2002).

Numerosas investigaciones han puesto de manifiesto el hecho de que ciertos animales atienden a las características numéricas de los estímulos que hay en su entorno y que utilizan esta información numérica de forma regular para tomar decisiones (Hausser, MacNeilage y Ware, 1996; Hauser, Carey y Hauser, 2000). De hecho, si lo pensamos desde un punto de vista evolutivo, parece tener mucho sentido que los animales hayan desarrollado a lo largo del tiempo ciertas capacidades numéricas que les han permitido sobrevivir en el entorno, como identificar el árbol con más frutos, la madriguera con mayor número de conejos, o la manada con más bisontes. En un estudio llevado a cabo por Wilson, Hauser y Wrangham (2001) con chimpancés en el Parque Nacional Kibale (Uganda), observaron la conducta de defensa territorial cooperativa de estos chimpancés en su hábitat natural. Concluyeron que la participación en un conflicto intergrupual y el nivel de respuesta agresiva en dicho conflicto, dependía de la evaluación numérica que hacían del grupo contrincante. Esto es, se producían ataques más letales cuando la ventaja numérica de machos en el grupo reducía los costos del ataque. Pero cuando no se encontraban en desventaja numérica, permanecían en silencio y se acercaban al grupo enemigo con menor frecuencia, y si lo hacían, era más lentamente. Estos hallazgos destacan la importancia evolutiva de la competencia numérica y que el procesamiento de la información numérica es de vital importancia para garantizar la supervivencia de un animal.

Los primeros trabajos en los que se estudiaba la competencia numérica en los animales, se basaban en la idea de que el procesamiento de magnitudes numéricas no es algo natural para los animales, sino que requiere de un extenso entrenamiento durante horas, días, meses e incluso años. En uno de los primeros estudios realizados en esta línea de investigación (Platt y Johnson, 1971), se entrenaban ratas para que presionasen una palanca cierto número de veces para recibir una recompensa. Tras registrar las respuestas de las ratas, se observó que el número de veces que las ratas presionaban la palanca se distribuían aproximándose a la normalidad alrededor del número de presiones requeridas para recibir el alimento. Esto es, cuando los animales tenían que presionar la palanca 5 veces, respondieron con más frecuencia con 5 presiones que con 4 o 6, y aún más que con 2 u 8 respuestas. Además, a medida que el número de presiones requeridas aumentaba, la variabilidad en las respuestas también incrementaba (véase Figura 2), es decir, más frecuente era que las ratas cometiesen errores en sus respuestas, y éstas más se alejaban de la respuesta buscada. Este perfil de respuestas evidencia que las representaciones numéricas en los animales son aproximadas e imprecisas.

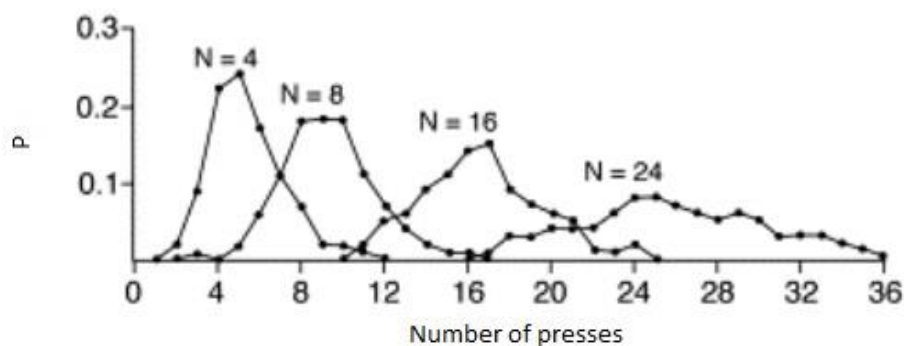


Figura 2. Evidencia de las representaciones de magnitudes numéricas en ratas. Se muestra la distribución de sus respuestas alrededor del número de presiones requeridas para dar el refuerzo (Tomado de Platt y Johnson, 1971).

Tomando como referencia este estudio, Whalen, Gallistel y Gelman (1999), realizan un experimento similar con humanos a los que se les pedía pulsar una tecla un número específico de veces. Al igual que ocurría con el estudio realizado con ratas, la media del número de respuestas aumentaba de manera sistemática con la magnitud del número que se les pedía. También la variabilidad en el número de respuestas incrementaba a medida que el número de respuestas requeridas aumentaba. Esto pone en evidencia que bajo circunstancias similares, podemos observar que los seres humanos comparten con los animales la capacidad de representar la magnitud numérica de manera aproximada e imprecisa, ya que la representación exacta parece ser una habilidad exclusivamente humana y que puede estar ligada al lenguaje como veremos más adelante.

El hecho de que este tipo de estudios se realizasen tras un entrenamiento de los animales, llevó a algunos autores (Davis y Memmott, 1982; Davis y Perusse, 1988) a especular sobre que el número no es un aspecto relevante del entorno de los animales y que la capacidad de representar magnitudes que se reflejan en los resultados de estos trabajos surgen tras el proceso de entrenamiento. A pesar de esto, son varios los trabajos en los que se ha demostrado que los animales pueden discriminar numerosidades sin entrenamiento previo. Entre las diversas investigaciones, podríamos mencionar una llevada a cabo por Hauser, Tsao, García y Spelke (2003), en la que presentaban a los monos tití estímulos auditivos (sílabas) y demuestran que son capaces de discriminar numerosidades sin haber recibido entrenamiento en tareas numéricas. Encuentran que las representaciones aproximadas del número en estos monos están mediadas por la ratio entre los dos números de manera que eran capaces de discriminar secuencias de, por ejemplo, 4 versus 6 sílabas pero fracasaban con secuencias de 4 versus 5. Otra conclusión que extraen de este trabajo, es que este sistema que nos permite representar magnitudes numéricas es independiente de la modalidad sensorial y de la forma de los estímulos.

Estos resultados revelan que la capacidad de representar de manera aproximada numerosidades grandes es evolutivamente antigua y que la dificultad de la discriminación depende de la ratio entre las numerosidades que se comparan. Sin embargo, para demostrar que las respuestas de los animales no humanos son ratio dependientes y se ajustan a la Ley de Weber, es necesario examinar su ejecución en tareas en las que se incluyan un amplio rango de numerosidades, ya que estos estudios realizados con animales incluían numerosidades con valores menores a 10. Con la intención de superar esta limitación y demostrar que humanos y animales comparten un sistema no verbal para representar magnitudes numéricas Cantlon y Brannon, (2006) llevaron a cabo un estudio en el que, tanto a estudiantes universitarios, como a monos Rhesus, se les presentaban dos conjuntos de puntos y tenían que elegir el valor numérico más pequeño, ignorando variables no numéricas como el tamaño de los puntos o la densidad del conjunto. Los primates eran capaces de extender una regla numérica aprendida con valores de 1 a 9 a los valores 10, 15, 20 y 30. Este hecho nos sugiere que los monos no tienen un límite en su capacidad numérica. Al comparar la ejecución de los humanos y los primates, encontraron una similitud significativa en su ejecución, lo que revela que la además de que los tiempos de reacción y la precisión en las respuestas dependían de la ratio entre los dos conjuntos, lo cual refuerza la idea de que existe un único mecanismo no verbal y evolutivamente muy primitivo, que permite representar y comparar valores numéricos. Lo que se demuestra en este trabajo, es que bajo las condiciones adecuadas podemos observar en adultos humanos un sistema del número dependiente de la ratio, que se ajusta a la Ley de Weber, que es impreciso y que también compartimos con algunas especies animales no humanas (Figura 3).

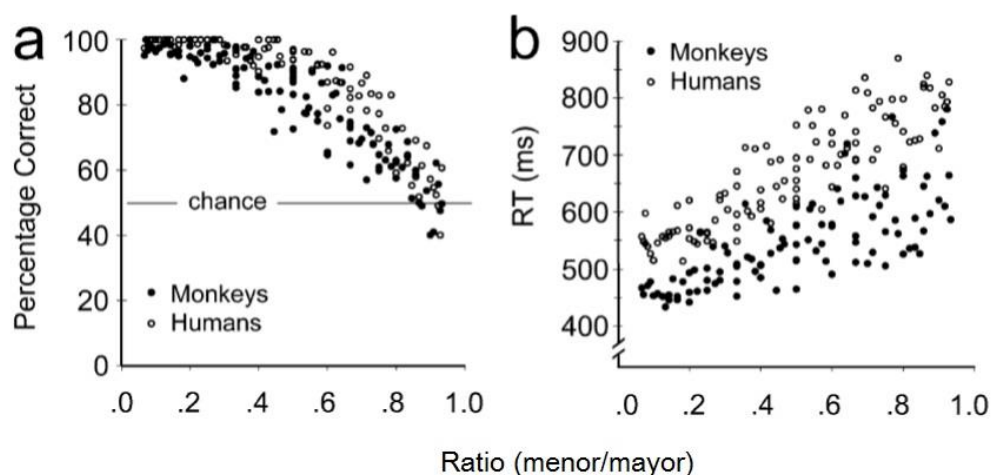


Figura 3. Primates y humanos comparten un sistema del número dependiente de la ratio. Precisión (a) y Tiempos de Reacción (b) en una tarea de comparación de magnitudes numéricas en monos Rhesus y estudiantes universitarios (Tomado de Cantlon y Brannon, 2006).

Este campo de investigación ha puesto en evidencia el importante hallazgo de que los humanos comparten con los animales un sentido de la cantidad numérica, independiente del lenguaje y que probablemente es innato (e.g., Brannon, 2006; Dehaene, 1997; Feigenson, Dehaene, y Spelke, 2004). Lo que cabría preguntarnos ahora es si este sistema de representación podría permitir también a los animales realizar operaciones de manera espontánea. Para ello, Flombaum, Junge y Hauser (2005) realizaron un estudio en el que monos Rhesus realizan operaciones de suma en conjuntos grandes. Se les presentaban 4 limones sobre una mesa y a continuación eran ocultados. Posteriormente el experimentador añadía otros 4 limones más. Finalmente destapaba el conjunto y podían aparecer 8 limones, que era el resultado esperado, o solamente 4 limones que era el resultado imposible. Cuando los monos veían el resultado de 4 limones, se producía una interferencia en su expectación y los miraban durante más tiempo que cuando aparecían 8 limones. Por tanto, los monos eran capaces de discriminar las cantidades de 4 vs. 8, pero fallaban en otras tareas en las que tenían que discriminar 4 vs. 6. Estos resultados indicaban que los monos utilizaban representaciones de magnitudes grandes menos exactas en el contexto de operaciones matemáticas, que cuando sólo tenían que comparar conjuntos. Es decir, los monos detectaban las congruencias en el resultado solamente cuando la ratio entre lo observado y lo esperado era favorable. Estos resultados no dejan claro si los monos son capaces de sumar mentalmente dos conjuntos de objetos por lo que Cantlon y Brannon (2008) compararon los patrones de humanos y monos en tareas de suma no verbales. Les presentaban en la pantalla un conjunto de puntos seguido de una pantalla en blanco y posteriormente otro conjunto de puntos. Finalmente se les presentaba una última pantalla con dos conjuntos de puntos: la suma de los dos anteriores, y el distractor. Las similitudes que encontraron entre la ejecución de los monos y los humanos fueron sorprendentes. Cuando los humanos y los monos sumaban de forma no verbal dos conjuntos de objetos, su ejecución estaba modulada por la ratio entre las dos opciones de respuesta presentadas. Concluían por tanto, que los primates humanos y no humanos, compartían un sistema cognitivo no verbal básico para la aritmética.

## 1.2. SNA en poblaciones iletradas

Como ya se ha demostrado, las representaciones de la magnitud de los números son independientes del idioma (Dehaene, 1997), y son muchas las investigaciones que apoyan la existencia de un SNA que es compartido por bebés, niños, adultos y animales no humanos. Además este sistema de representación es universal como podemos ver en estudios realizados con los Mundurucu. Son una cultura indígena del Amazonas que poseen un sistema numérico muy particular ya que en su lenguaje solo se incluyen palabras que representan los valores del

1 al 5. Pica, Lemer, Izard y Dehaene (2004) compararon la ejecución en tareas de comparación de magnitudes y aritmética exacta entre los hablantes de Mundurucu y un grupo control integrado por hablantes franceses. Encontraron que la ejecución de los Mundurucu comparando dos conjuntos grandes de puntos (oscilaban entre los 20 y 80 puntos) era muy similar a la ejecución del grupo control formado por franceses. En los dos grupos la ejecución y el rendimiento de los participantes mejoraba a medida que la ratio entre los dos conjuntos aumentaba, es decir, los adultos humanos carentes de lenguaje numérico tenían una ejecución ratio dependiente y que obedecía a la Ley de Weber. Sin embargo, la fracción de Weber obtenida por los mundurucú fue ligeramente superior a la del grupo de franceses. Este trabajo permitió concluir que nuestro sistema de representación es universal e independiente del lenguaje. Después de éste, y otros estudios que se habían llevado a cabo con este grupo de indígenas, en los años sucesivos, muchos de ellos fueron instruidos en ciertos aspectos matemáticos como la enumeración simbólica y la aritmética, mientras que otros no recibieron ningún tipo de instrucción. Aprovechando este acceso tan variable a la instrucción matemática, años después, Piazza, Pica, Izard, Spelke y Dehaene (2013) realizaron un estudio con los Mundurucu en el que se tomaron medidas del SNA tanto en niños como en adultos. En cuanto a la Fracción de Weber encontraron que disminuía de los 4 a los 13 años y que permanecía sin cambios durante la edad adulta. Al comparar los sujetos Mundurucu con y sin acceso a la escolarización, encontraron que la instrucción incrementa significativamente la agudeza con la que se estiman los conjuntos de objetos concretos. Esto es, la educación estaba asociada con un incremento en la precisión del SNA, y además, esta relación era independiente de la variable edad. Estos resultados indican que la cultura y la educación tienen un efecto importante en la percepción numérica básica. Estos resultados parecen indicar que es la instrucción de los números simbólicos lo que produce un importante efecto en la precisión del SNA, ya que la Fracción de Weber disminuía cuando se instruía a los Mundurucu en conteo y aritmética. También observaron que la instrucción no tenía efectos en tareas de comparación de magnitudes simbólicas, lo que indica que estos resultados son resultado únicamente de la escolarización, y que el procesamiento numérico simbólico y no simbólico refuerzan mutuamente a lo largo del curso de la instrucción de matemáticas.

### **1.3. SNA en bebés**

En vista de la evidencia analizada anteriormente, se demuestra que tanto animales humanos como no humanos, muestran representaciones de la magnitud numérica cualitativamente similares y por tanto podríamos hipotetizar que estas representaciones pueden ser innatas y detectables en un momento muy temprano de la infancia. De hecho, existe un creciente campo de evidencias que demuestran incluso, que los bebés de pocos meses son muy sensibles a las magnitudes numéricas y pueden discriminar numerosidades (e.g., Libertus y Brannon, 2010; Libertus y Brannon, 2013; Xu y Spelke, 2000). Muchos de estos estudios se han llevado a cabo utilizando el paradigma de la habituación. En tales estudios, a los bebés se les presentan imágenes con un cierto número de puntos u objetos y se mide el tiempo que el niño atiende a la pantalla o el ritmo de succión. Después de presentarle varias veces la misma cantidad numérica, el bebé apartará la mirada de la pantalla porque se ha habituado a la presentación repetida de una magnitud numérica particular. Cuando esto sucede, se le presenta al niño pantallas alternas de la magnitud a la que se ha habituado y una nueva magnitud numérica diferente. Lo que se pretende evaluar es si los bebés miran durante más tiempo la nueva magnitud, lo que indicaría que han percibido un cambio en el número de puntos u objetos presentados. En los primeros estudios de esta naturaleza, se descubrió que los bebés eran capaces de discriminar entre conjuntos de puntos muy pequeños, tales como 2 o 3 (Antell y Keating, 1983; Starkey y Cooper, 1980). Además, los bebés también eran sensibles a las transformaciones aritméticas simples, como agregar una muñeca a otra muñeca o quitar una muñeca de conjunto de dos muñecas (Wynn, 1992).

Varias investigaciones más recientes, han revelado que los bebés a los 6 meses de edad muestran la capacidad de discriminar entre un estímulo al que se han habituado y el novedoso cuando la ratio entre los estímulos era de 0.5 (e.g., 8 vs. 16 puntos) pero no cuando la ratio incrementaba (e.g., 8 vs. 12) (Xu y Spelke, 2000; Xu, Spelke, y Goddard, 2005; Coubart, Izard, Spelke, Marie y Streri, 2014). Estos hallazgos no solo demuestran que los bebés pueden

procesar magnitudes numéricas, sino que también proporcionan evidencia de que a los 6 meses de edad, los bebés ya son sensibles a la distancia numérica y a la relación numérica de la misma manera que los adultos y los animales no humanos. Concretamente, los bebés sólo pueden discriminar entre magnitudes numéricas no simbólicas cuando éstas son suficientemente diferentes en distancia o relación.

Curiosamente, la ratio a la que los bebés son capaces de discriminar dos magnitudes numéricas, cambia a lo largo del desarrollo. Además, igual que ocurría con los animales no humanos, en los bebés, las representaciones aproximadas de las magnitudes numéricas no están limitadas a conjuntos de puntos, sino que son independientes de la modalidad del estímulo. Y así lo demuestran Lipton y Spelke (2003) en un estudio que realizaron usando el paradigma de discriminación del número auditivo (los bebés tenían que discriminar entre diferente número de sonidos). Encontraron que los niños de 6 meses de edad pueden discriminar 16 sonidos de 8, pero fallan cuando tienen que discriminar entre 12 y 8 sonidos. Sin embargo, para cuando los bebés tenían 9 meses de vida, ya eran capaces de discriminar diferentes conjuntos de sonidos cuya ratio era menor. Así, discriminaban exitosamente 12 sonidos de 8 pero aún no podían diferenciar entre 10 y 8 sonidos. En otro estudio llevado a cabo por Xu y Arriaga (2007), encuentran también que los niños de 6 meses son capaces de diferenciar magnitudes únicamente con ratios a razón de 1:2, pero a los 10 meses de edad, también discriminan magnitudes con ratios más pequeñas a razón de 2:3. Estos datos sugieren en por un lado, que la precisión o agudeza del sistema aproximado que nos permite representar magnitudes numéricas, aumenta durante los primeros meses de vida. Y por otro lado, puesto que la capacidad de discriminación se ha estudiado con diferentes tipos de estímulos sensoriales, parece que dicha capacidad de discriminación en los bebés depende de representaciones abstractas de las numerosidades.

En conjunto, hay un creciente cuerpo de evidencia que sugiere que los niños preverbales son sensibles a las magnitudes numéricas no simbólicas. Por otra parte, los datos de tiempo de observación indican que, como vimos a partir de los datos de animales adultos y no humanos, analizados anteriormente, la distancia entre las magnitudes numéricas predice la precisión en la discriminación. Por lo tanto, estos datos señalan la existencia de un sistema de representación y procesamiento de magnitudes numéricas que es cualitativamente similar en animales no humanos, adultos humanos, poblaciones iletradas y niños. Esto refuerza la noción de que estamos equipados desde que nacemos con competencias fundamentales para el procesamiento de la información numérica. Sin embargo, si bien los datos sugieren la existencia de sistemas cualitativamente similares para la representación de magnitud numérica en lactantes, animales y adultos, los resultados de los estudios realizados con bebés también sugieren que la agudeza con la que pueden discriminar los números es significativamente menor que la precisión con la que lo hacen los adultos. . Por lo tanto, hay evidencia de que existen cambios en el desarrollo en la representación y procesamiento de la magnitud numérica.

## **2. SISTEMA NUMÉRICO EXACTO**

Como hemos visto hasta el momento, los estudios realizados con animales, bebés, y poblaciones iletradas entre otros, evidencian la existencia de un sistema de representación numérica. Es el denominado Sistema Numérico Aproximado, que nos permite representar valores cardinales de grandes conjuntos de objetos o eventos, de manera aproximada. En resumen, los hallazgos indican que bebés, niños y adultos comparten este sistema común de cuantificación que produce representaciones imprecisas del número aproximado y que capta las relaciones entre diferentes cantidades. Este sistema de representación es estable independientemente de la modalidad en la que se presenten los estímulos y de las variaciones de las propiedades continuas de los mismos. Otra de sus características es que está limitado por la ratio entre las cantidades a discriminar, lo cual se explica probablemente, por el significado logarítmico de las magnitudes numéricas subyacentes a sus representaciones. Finalmente, y como veremos más adelante, este sistema básico acaba integrándose con el sistema numérico simbólico utilizado por niños y adultos para la enumeración y el cálculo.

Pero este sistema aproximado no es nuestra única fuente de información numérica. Tanto bebés como adultos comparten un segundo sistema para identificar con precisión un pequeño número de elementos y para representar la información referente a sus propiedades cuantitativas continuas. En un experimento, realizado por Feigenson, Carey y Hauser (2002) los bebés de 10 y 12 meses de edad tenían que elegir entre dos cantidades de galletas que se encontraban ocultas (Figura 4a). Los bebés veían al experimentador ocultar de manera secuencial unas pocas galletas de igual tamaño en dos cubos diferentes. Se les presentaban varias condiciones en las que variaba el número de galletas que había en cada uno de los cubos. Resultó que los bebés escogían de manera espontánea el cubo con mayor cantidad de galletas, en las condiciones de 1 vs. 2 galletas y 2 vs. 3 galletas. Sin embargo, cuando se les presentaban las opciones de 3 vs. 4, 2 vs. 4, 3 vs. 6, e incluso 1 vs. 4 galletas, los bebés elegían el cubo al azar, a pesar de la más que diferenciable relación entre las cantidades. Este patrón de respuesta difiere radicalmente de lo observado en estudios con grandes magnitudes, ya que el éxito de los bebés en este estudio, no dependía de la ratio numérica entre las dos cantidades, sino del número absoluto de elementos presentados, con un máximo de 3 galletas. Esta sorprendente limitación en los bebés a la hora de cuantificar cantidades pequeñas, aparece al menos en otros dos paradigmas. En primer lugar, Starkey y Cooper (1980) llevaron a cabo una tarea de habituación en la que los niños discriminaban con éxito 2 vs. 3 pero no lo hacían con las cantidades de 4 vs. 6, a pesar de la enorme diferencia entre las ratios. Feigenson y Carey (2003) también encontraron el límite de 3 elementos en una tarea en la que a los bebés se le ocultaban en una caja objetos de manera secuencial y posteriormente buscaban para recuperarlos (Figura 4b). Los bebés de 14 meses de edad, fueron capaces de resolver la tarea con éxito encontrando los objetos que se habían escondido, pero solo para las numerosidades de 1, 2 y 3. Los patrones de búsqueda de los bebés muestran que representaban correctamente los objetos escondidos cuando eran “exactamente 1”, “exactamente 2” y “exactamente 3” objetos. Sin embargo cuando se les escondían 4 objetos, los niños cogían uno de ellos y dejaban de buscar el resto. En este experimento se controlaron las variables continuas de los objetos que se escondían, por lo tanto, los niños basaban su búsqueda en el número exacto de objetos que habían sido escondidos y no en las propiedades continuas de los mismos.

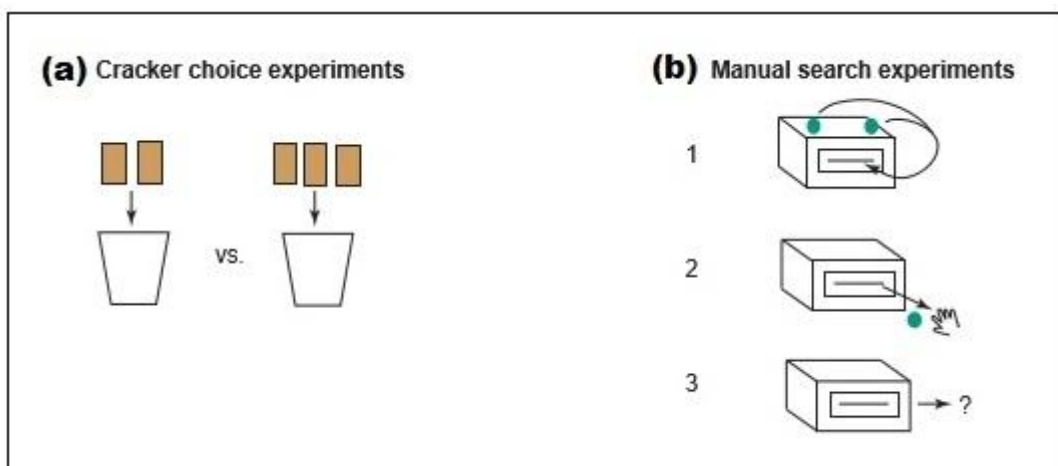


Figura 4. Dos tipos de tareas utilizadas para evaluar las representaciones de magnitudes en niños (Tomado de Feigenson, Dehaene y Spelke, 2004).

Además de calcular la numerosidad, los niños también eran capaces de calcular la extensión continua total de los conjuntos de objetos presentados. En el estudio realizado con galletas descrito anteriormente, en una de las condiciones, presentaron a los bebés una galleta grande frente a dos galletas pequeñas cuya totalidad era la mitad del área de la galleta grande. Los bebés eligieron el cubo que contenía una única galleta grande frente al cubo con dos galletas (Starkey y Cooper, 1980). Los bebés resolvieron esta tarea con éxito, eligiendo el cubo en el que la cantidad de galleta era mayor, sólo cuando se les escondían 3 galletas o menos en alguno de los dos cubos. Esto sugiere que los bebés representan las galletas como elementos individuales, hasta un límite de 3, y luego son capaces de considerar el conjunto de alimento



total para representar la cantidad total de galleta que hay en cada cubo. Esta sensibilidad a las variables continuas se ha observado en muchos paradigmas, incluyendo la habituación y la violación de la expectativa, lo que demuestra la importancia de este cálculo cuando se representa un pequeño número de objetos (Clearfield y Mix, 1999; Xu, 2003).

Al igual que el primer sistema básico, el sistema para representar pequeñas cantidades numéricas de elementos individuales produce una huella consistente a través de representaciones abstractas. De la misma manera que ocurre con los conjuntos de objetos, los bebés representan de manera precisa los elementos individuales en eventos visuales y secuencias auditivas como por ejemplo, saltos de títeres y sonidos (Wynn, 1996). Con este tipo de estímulos, de nuevo, los bebés no son capaces de representar conjuntos con más de 3 elementos, fallando al representar el número cuando se controlan variables continuas. Y cuando la tarea implica una cantidad mayor a 3, a menudo responden a la representación de la cantidad total de movimiento o de sonido. Sin embargo, este sistema exacto tiene límites en cuanto a los tipos de elementos que pueden representarse. Tanto los bebés (Chiang y Wynn, 2000; Huntley-Fenner, Carey y Solimando, 2003) como los adultos (Scholl y Pylyshyn, 1999; Van Marle y Scholl, 2003) son incapaces de representar flujos de sustancias u objetos que aparecen y desaparecen a la vista. Este tipo de restricciones compartidas por bebés y adultos, proporcionan la evidencia para sustentar la idea de que este segundo sistema se utiliza a lo largo del desarrollo (Scholl, 2001; Carey y Xu, 2001).

En cuanto al papel de las representaciones exactas de números pequeños en adultos, podemos encontrarnos aún una serie de cuestiones que aún no se han resuelto. Cuando los adultos enumeran conjuntos de puntos, la ejecución es muy rápida y prácticamente carente de errores cuando se trata de numerosidades que van del 1 al 4. Sin embargo, cuando tienen que enumerar conjuntos de elementos cuya numerosidad es mayor a 4, la tasa de error y el tiempo de respuesta aumentan bruscamente, y dichos aumentos se van acentuando a medida que incrementa la numerosidad del conjunto (Figura 5) (Mandler y Shebo, 1982; Trick y Pylyshyn, 1994).

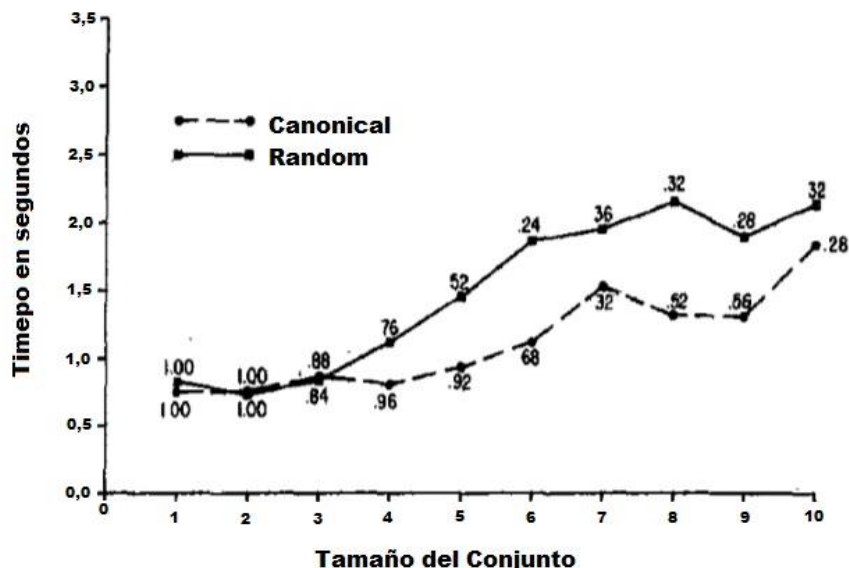


Figura 5. Media de los tiempos de reacción de cada conjunto cuando los puntos se presentaban dispersos de manera aleatoria en la pantalla y cuando se presentaban conformando un patrón (Tomado de Mandler y Shebo, 1982).

Esta discontinuidad (Figura 5) ha llevado a los investigadores a plantearse que los números pequeños se procesan de forma diferente a los números grandes gracias al proceso de *subitizing*. Este proceso permite reconocer de manera inmediata y precisa el número de elementos que se nos presentan. Algunos han planteado que el *subitizing* puede depender de un sistema para la representación y seguimiento de un pequeño número de elementos tal y como se ha expuesto anteriormente (Trick y Pylyshyn, 1994). Además, del mismo modo que ocurría con las investigaciones que demostraban la existencia del primer sistema aproximado, también en la literatura encontramos evidencias de que los animales también poseen este

sistema exacto para representar magnitudes. Las investigaciones con animales se han llevado a cabo utilizando los mismos métodos y paradigmas que describíamos en los estudios con bebés. Utilizando una tarea de discriminación en la que se introducían piezas de manzana en dos cajas diferentes, Hauser, Carey y Hauser (2000), encontraron que los monos Rhesus eran capaces de seleccionar la caja con mayor número de piezas de manzanas para las cantidades de 2 vs. 1, 3 vs. 3, 4 vs. 3 y 5 vs. 3. Pero cuando a los monos se les presentaban dos cajas, una con dos piezas de manzana y otra con una pieza de manzana y una piedra, aunque las cantidades de objetos estaban igualadas, los monos seguían escogiendo la caja con mayor número de piezas de manzana, ignorando la piedra, para las condiciones de 2 vs. 1, 3 vs. 2 y 4 vs. 3. Para diferenciar entre los dos sistemas de magnitudes numéricas, fue necesario contrastar los resultados con cantidades grandes y con mayores ratios entre las numerosidades (8 vs. 4 y 8 vs. 3). Bajo estas condiciones, los monos no fueron capaces de escoger la caja con mayor número de piezas de manzana. Estos resultados sugerían que los monos utilizaban un sistema de número exacto para resolver las tareas. Ya que si hubiesen utilizado el sistema que permite representar grandes magnitudes, hubiesen resuelto satisfactoriamente estas últimas tareas.

Estos estudios e investigaciones que hemos comentado con anterioridad, revelan que el proceso de *subitizing* posee 4 propiedades propias fundamentales. En primer lugar, está sujeto a un tamaño límite de 3 o 4. En segundo lugar, el *subitizing* opera cuando los elementos ocupan posiciones espaciales claras y delimitadas, pero no cuando se encuentran superpuestos o integrados en otros elementos (Trick y Pylyshin, 1994). En tercer lugar, este proceso opera cuando los elementos están separados entre sí por un espacio vacío, pero no cuando los elementos están unidos por una cuadrícula de líneas conectadas (Scholl y Pylyshyn, 1999; Trick y Pylyshin, 1994). Y finalmente, el proceso de *subitizing* se pone en marcha cuando los elementos son estáticos, cuando se mueven de manera continua sin desaparecer del campo de visión y cuando se mueven también de manera continua con breves periodos de oclusión. Sin embargo, no opera cuando los elementos aparecen y desaparecen de manera discontinua (Scholl y Pylyshyn, 1999), o cuando se dispersan o separan y se juntan (Scholl y Pylyshyn, 1999).

Por tanto, parece ser que cuando tenemos que enumerar una pequeña cantidad de elementos (hasta un máximo de 4), lo hacemos de manera precisa y rápida utilizando el sistema exacto a través del proceso de *subitizing*. Sin embargo, cuando nos enfrentamos a la enumeración de más de 4 elementos, recurrimos al proceso del *conteo* que es menos preciso, nos lleva a más errores, se ejecuta de manera serial y requiere de más tiempo. Los resultados de los estudios realizados para conocer el proceso de *conteo*, muestran que éste requiere de movimientos oculares para localizar los elementos (o conjuntos de elementos) en el espacio (Simon y Vaishnavi, 1996) y el consumo de recursos de la memoria de trabajo verbal, concretamente, el componente de la subvocalización (Logie y Baddeley, 1987). Además, el proceso de *conteo*, está influenciado por la disposición espacial de los elementos, de manera que la agrupación perceptual y geométrica de los mismos facilita el proceso, mientras que estas variables no influyen en el proceso de *subitizing*.

En resumen, podemos decir que el procesamiento de magnitudes presenta ciertas disociaciones que dan lugar a los dos sistemas para representar las magnitudes: el exacto y el aproximado. La discriminación de cantidades grandes y aproximadas varía en relación con la ratio que existe entre las numerosidades que se comparan, mientras que la discriminación de magnitudes pequeñas, varía con respecto al número absoluto de elementos presentados, con un límite de aproximadamente 3 o 4. Una segunda disociación entre estos sistemas, es que el proceso de *subitizing* que se lleva a cabo con cantidades pequeñas, se ve afectado por las propiedades continuas de los estímulos, mientras que el sistema de representación de grandes magnitudes no se ve interferido por dichas propiedades. Estas disociaciones sugieren que las numerosidades grandes y pequeñas, son el objeto de dos sistemas diferentes con diferentes funciones: los conjuntos de grandes magnitudes activan principalmente un sistema para representar conjuntos y comparar sus numerosidades cardinales de manera aproximada. Por el contrario, las magnitudes pequeñas activan un sistema para representar y localizar valores numéricamente diferentes, lo que permite calcular tanto sus propiedades cuantitativas continuas, como el número exacto de elementos que forman el conjunto.

### 3. CÓMO DAMOS SIGNIFICADO A LOS NÚMEROS SIMBÓLICOS

Cómo representamos y procesamos los números simbólicos ha sido un tema muy estudiado en los humanos en todas sus etapas del desarrollo. Una de las cuestiones a las que se ha intentado dar respuesta es *cómo adquieren significado los números simbólicos (números arábigos y palabras numéricas)*, que son representaciones arbitrarias únicamente humanas de las numerosidades que los niños necesitan adquirir durante su desarrollo. Cuando los niños se enfrentan por primera vez a las representaciones simbólicas del número, para ellos son palabras y símbolos visuales sin sentido alguno. Por tanto, es necesario que los niños conecten estas representaciones simbólicas con su significado semántico. La propuesta más aceptada en el campo de la cognición numérica y que da respuesta a este interrogante, es que los símbolos numéricos exactos se proyectan en el SNA, sobre las representaciones no simbólicas de los números (e.g., Kolkman, Kroesbergen, y Leseman, 2013; Wagner y Johnson, 2011). Es decir, cuando los niños aprenden los símbolos que representan números, éstos se asocian con las representaciones no simbólicas del SNA (e.g., Barth, La Mont, Lipton, y Spelke, 2005; Mundy y Gilmore, 2009). Si esto es así, cabría preguntarnos que si una vez que se aprenden los símbolos numéricos, *las representaciones de los números simbólicos y no simbólicos son similares*. En este apartado trataremos de dar respuesta a estas preguntas.

Mucha de la evidencia que da soporte a esta idea de que poseemos un sistema básico y aproximado para representar las magnitudes numéricas que sirve como base sobre la que se proyectan los números simbólicos, provienen de estudios en los que se utilizan tareas de discriminación de cantidades. En ellos se ha demostrado que, al igual que ocurre en las tareas de discriminación de magnitudes no simbólicas, cuando se comparan magnitudes simbólicas las respuestas de los participantes también son ratio dependientes y obedecen a la Ley de Webber. Uno de los primeros estudios en los que se utilizó esta metodología, fue el llevado a cabo por Moyer y Landauer (1967) donde se pedía a estudiantes universitarios que decidieran cuál de los dos números arábigos de un solo dígito que se presentaban simultáneamente era mayor. Los investigadores observaron que el tiempo de respuesta de los participantes dependía de la diferencia numérica (o distancia) que existía entre los dos números que se estaban comparando. Concretamente, cuando esta distancia era muy pequeña (1 o 2), el tiempo que tardaban los participantes en resolver el ensayo era mucho mayor y menos precisa que cuando se les presentaban números cuya diferencia era mayor (8 o 9), en cuyo caso eran más rápidos y cometían menos errores. Este hallazgo se ha conocido como el "Efecto Distancia Numérica" (ver Figura 6 para una ilustración de este efecto) y ha sido replicado en numerosos estudios posteriores a este trabajo de Moyer y Landauer.

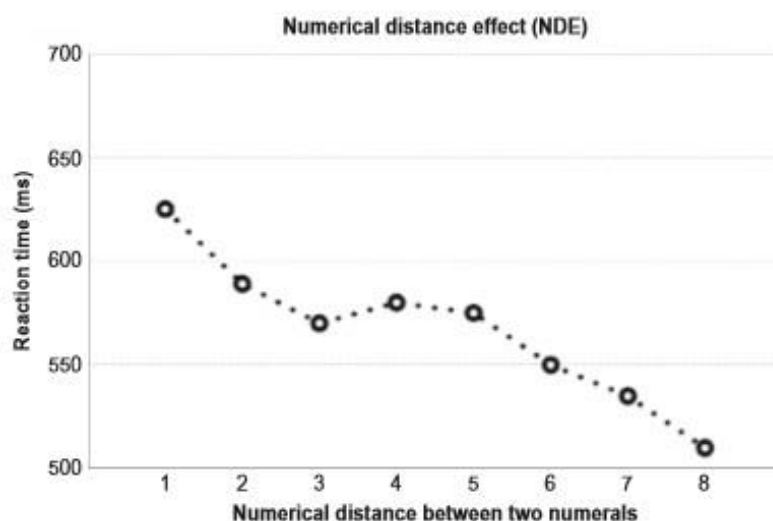


Figura 6. Evidencia del Efecto Distancia Numérica (Tomado de Lyons y Ansari, 2015).

En este mismo estudio original, encontraron otro efecto que es complementario al efecto de la distancia numérica, que se denomina “Efecto de la Ratio” o “Efecto del Tamaño Numérico” (ver Figura 7) y que tiene en cuenta no solo la distancia entre los números sino también su tamaño absoluto. En la tarea clásica de comparación de magnitudes numéricas, se pide a los participantes que comparen 1 vs. 2 y 8 vs. 9. En ambos casos, la distancia numérica es 1, sin embargo, las magnitudes que se comparan son diferentes. Cuando los participantes tenían que indicar que 2 era mayor que 1 (ratio de 0.5), resultó que eran más rápidos y precisos que cuando tenían que decidir que 9 era mayor que 8 (ratio 0.89). Este hallazgo indica que los participantes eran más rápidos y cometían menos errores cuando comparaban números con magnitudes pequeñas que números con magnitudes grandes (ver Figura 6), aunque la distancia numérica entre los números fuese la misma.

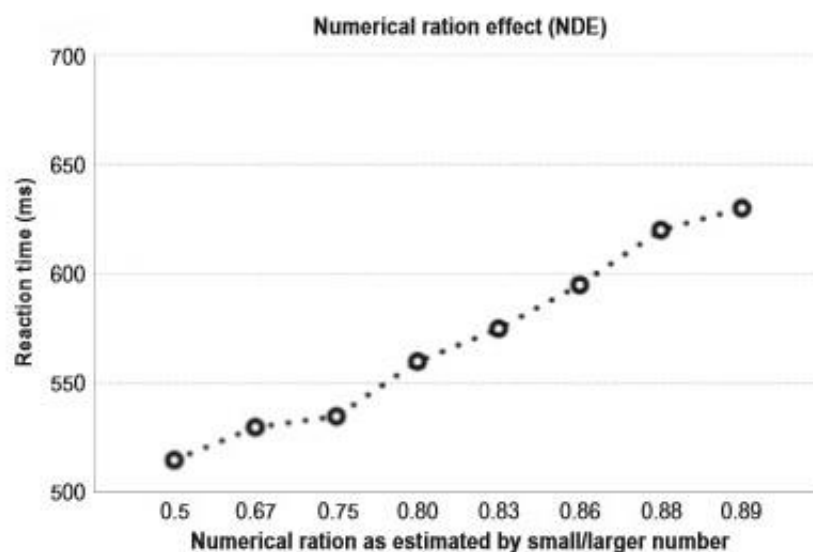


Figura 7. Evidencia del Efecto Distancia Numérica (Tomado de Lyons y Ansari, 2015).

Tanto el efecto distancia como el efecto ratio suponen importantes hallazgos que han sido replicados en numerosas investigaciones (Ansari, Garcia, Lucas, Hamon, y Dhital, 2005; Dehaene, Dupoux, y Mehler, 1990; Leibovich, Ashkenazi, Rubinsten, y Henik, 2013;) y se han convertido en herramientas que nos permiten evaluar la representación y el procesamiento de magnitudes numéricas tanto simbólicas como no simbólicas. Son muchos autores los que sostienen que estos efectos son el reflejo del sistema subyacente que nos permite representar y procesar las magnitudes numéricas (SNA) y sobre el que se asientan los símbolos numéricos que se adquieren durante el desarrollo. La enorme similitud entre en los efectos distancia y ratio en el procesamiento numérico simbólico y no simbólico, es uno de los hallazgos centrales que evidencia la teoría de que los números simbólicos se aprenden al asociarlos con su representación no simbólica, primitiva y posiblemente innata de la magnitud. Es decir, la semejanza de las evidencias representacionales (efectos de ratio y distancia), denota que los símbolos numéricos se proyectan en una representación innata y aproximada del número.

Esta idea de que las representaciones simbólicas y no simbólicas de las magnitudes están íntimamente conectadas unas con otras, también es sostenida por estudios de neuroimagen. Utilizando la técnica de la Resonancia Magnética funcional (fMRI), estos estudios han mostrado que ciertas zonas del córtex parietal, en concreto el surco intraparietal (SIP), se activa durante las tareas de comparación simbólica y no simbólica (Cohen Kadosh, Lammertyn, y Izard, 2008; Dehaene, Piazza, Pinel, y Cohen, 2003; para una revisión ver Nieder y Dehaene, 2009). Sin embargo, la activación del IPS, podría explicarse de manera alternativa por la activación como respuesta al procesamiento que también se localiza en el córtex parietal. Con la intención de dar más claridad a la cuestión, Piazza, Pinel, Le Bihan y Dehaene (2007) llevaron a cabo una

investigación utilizando el paradigma de la habituación y la técnica de fMRI. A los participantes del estudio se les habituaba a estímulos simbólicos y no simbólicos con magnitudes grandes y pequeñas. Cuando ya estaban habituados al estímulo en cuestión, se les presentaba otro que difería del inicial en la numerosidad y/o tipo de notación de la magnitud numérica. Encontraron que se producía una adaptación en el IPS a la numerosidad de la magnitud independientemente de si el estímulo inicial había sido presentado en notación simbólica o no simbólica. Sin embargo, esto no ocurría cuando la numerosidad del estímulo habituado y del que se presentaba posteriormente, diferían en gran medida. Este resultado sugiere que en el IPS se localiza tanto la representación de las magnitudes simbólicas como las no simbólicas. Además de estos trabajos, otros realizados también con técnicas de neuroimagen, han mostrado que la actividad en el IPS está mediada por la ratio numérica entre las magnitudes, tanto las simbólicas, como las no simbólicas (Holloway, Price y Ansari, 2010). Esto demuestra, que el procesamiento de magnitudes simbólicas y no simbólicas es ratio dependiente, tanto a nivel de análisis conductual como cerebral.

Pese a que en estos trabajos se muestran evidencias que sostienen la teoría de que lo simbólico se proyecta en lo no simbólico, si revisamos la literatura al respecto nos encontramos con varias contradicciones. Una de las maneras de examinar si los números simbólicos adquieren su significado proyectándose sobre las representaciones previas del SNA, es realizando estudios de correlación entre las diferencias individuales en el SNA y las diferencias individuales en el procesamiento de magnitudes simbólicas. Lyons, Ansari y Beilock (2012) intentaron probar si los símbolos numéricos están estrechamente asociados a las representaciones no simbólicas (del SNA) evaluando la eficiencia con la que participantes adultos comparaban representaciones simbólicas con representaciones no simbólicas (lo que denominan comparaciones mixtas). Pidieron a los participantes que hicieran comparaciones entre (a) magnitudes simbólicas; (b) magnitudes no simbólicas; (c) una magnitud simbólica con otra no simbólica. Los autores defendían que si las representaciones simbólicas y no simbólicas están conectadas entre sí, de manera que las primeras se proyectan en las segundas, entonces en la tarea de comparación mixta, los participantes tendrían que ser tan eficientes como comparando numerosidades en el mismo formato. Sin embargo, encontraron que en la condición mixta, la ejecución de los participantes mostraba que era la condición más difícil puesto que el tiempo de reacción y la proporción de errores incrementaban notablemente.

Uno de los principales argumentos que defienden que los números simbólicos se aprenden gracias a su proyección sobre las representaciones aproximadas en el SNA, es que en las tareas de comparación de magnitudes simbólicas, encontramos los mismos efectos de distancia y ratio que en las tareas de comparación de magnitudes no simbólicas. Sin embargo, en un estudio llevado a cabo recientemente por Lyons, Nuerk y Ansari (2015), en el que evaluaron el efecto ratio en tareas de comparación, en niños desde educación infantil, hasta sexto curso de primaria. Demostraron que sólo una minoría (30%) de los niños mostraban un efecto ratio significativo en la tarea de comparación de magnitudes simbólicas, mientras que la mayoría de ellos (75%) sí lo mostraban un efecto ratio significativo en la tarea de comparación de magnitudes no simbólicas. Estos resultados podrían sugerir que las representaciones simbólicas y no simbólicas de los números pudieran ser cualitativamente diferentes.

Debido a que estos datos han sido obtenidos en estudios realizados con adultos y niños de educación primaria e infantil, es necesario plantearnos la posibilidad de que la asociación entre las representaciones simbólicas y no simbólicas, podrían evidenciarse en un momento anterior del desarrollo. Por tanto, para investigar si las representaciones de las numerosidades se relacionan entre sí en el momento en el que los niños pasan de la educación infantil a primaria, Sasanguie, Defever, Maertens y Reynvoet (2014), evaluaron a niños de educación infantil en tareas de comparación de magnitudes no simbólicas y 6 meses después, en comparación de magnitudes no simbólicas y simbólicas. Mientras que la ejecución de los niños en la tarea de comparación no simbólica correlacionaba a lo largo del tiempo, no ocurría lo mismo entre la comparación no simbólica con la tarea de comparación simbólica 6 meses después. Y no solo esto, sino que tampoco encontraron correlación entre la tarea de comparación de magnitudes no simbólica y simbólica, durante el segundo momento de evaluación. Otro estudio longitudinal (Mussolin, Nys, Content y Leybaert, 2014) con niños de 3 a 4 años reveló que las habilidades tempranas de procesamiento numérico simbólico predicen el posterior rendimiento en tareas de comparación no simbólicas, pero no ocurría de manera inversa. A la vista de estos resultados,

en ambos estudios, los autores concluyen que las habilidades de procesamiento de magnitudes no simbólicas, no predicen la competencia de los niños en comparación de magnitudes simbólicas y por tanto, sugieren que las representaciones internas de las cantidades podrían disociarse en varios subsistemas de notación específica (formatos simbólico y no simbólico).

Más allá de estos resultados basados en estudios conductuales, existe, como ya se ha señalado, un amplio campo de investigación basado en técnicas de neuroimagen. Mientras que existen trabajos realizados con técnicas de fMRI que parecen indicar que en el IPS se localizan las representaciones de las magnitudes numéricas simbólicas y no simbólicas, existen trabajos en los que no pueden llegar a esta misma conclusión. Por ejemplo, utilizando el paradigma de la habituación, Cohen-Kadosh, Bahrami, Walsh, Butterworth, Propescu y Price (2011) encuentran activación en el IPS ante un cambio de formato de presentación (simbólico y no simbólico) en ausencia de un cambio en la cantidad numérica. Esto es, encuentran que cuando el estímulo habituado (e.g., 12 puntos) cambia de formato (e.g., la representación simbólica "12") sin cambiar su numerosidad, se produce un incremento en la activación en ciertas regiones del IPS que también responden a los cambios en la cantidad numérica presentadas, lo cual es una evidencia que contradice la existencia de un código común para las numerosidades independiente del código o la notación de los estímulos. Además, nuevos trabajos basados en el análisis de patrones multivoxel (MVPA) parecen llegar a resultados contradictorios. Estas nuevas técnicas de análisis permiten observar, no sólo qué áreas cerebrales se activan ante la presentación de cierto estímulo, sino que permiten analizar los patrones de activación de dichas áreas. Utilizando este enfoque, Eger, Michel, Thirion, Amadon, Dehaene, y Kleinschmidt (2009) no fueron capaces de encontrar evidencias para apoyar la idea de que existe un sistema de representación de los números en el que se representan las cantidades de manera simbólica y no simbólica.

Tras esta revisión crítica de los argumentos a favor y en contra de la hipótesis de que cuando se adquieren los números simbólicos éstos se proyectan en las representaciones previas aproximadas del SNA, parece ser que no hay resultados concluyentes. Por lo tanto, algunos autores han propuesto una hipótesis alternativa basada en las asociaciones símbolo-símbolo (Reynvoet y Sasanguie, 2016) en la que sugieren que los números simbólicos y no simbólicos, activan representaciones distintas (Noël & Rousselle, 2011; Sasanguie et al., 2014). Defienden que los números simbólicos (números arábigos y palabras numéricas) no adquieren su significado numérico proyectándose en el SNA, sino a través del desarrollo de una nueva y más precisa representación (Vos, Sasanguie, Gevers y Reynvoet, 2017). Estos autores no rechazan la existencia del SNA, sino que simplemente, no lo consideran la base sobre la que se apoyan los números simbólicos. Y creen que es el segundo sistema numérico del que se ha hablado en este trabajo, el que es crucial para la aparición de un sistema simbólico exacto y separado del SNA. Ya en un trabajo realizado hace más de una década, Carey (2001) propuso que en lugar de proyectarse en el SNA, los símbolos numéricos iniciales (palabras numéricas) se proyectan en el segundo sistema de representación exacta de los números (Sistema de Seguimiento de Objetos). De esta manera, a medida que los niños aprenden la serie numérica y la perfeccionan, van haciendo inferencias sobre principios numéricos del sistema, tales como el orden (los números simbólicos forman secuencias) y el principio de orden estable (el número siguiente es exactamente uno más el número previo). Así, estos principios se van generalizando a los números simbólicos cada vez mayores, resultando en una completa comprensión del sistema numérico simbólico. Los números grandes, por tanto, en un primer momento se representan a través de asociaciones basadas en el orden con respecto a otros números simbólicos, en lugar de proyectarse en las representaciones no simbólicas aproximadas.

#### **4. CONCLUSIONES**

Los datos y la teoría revisados en este trabajo demuestran que los seres humanos y los animales comparten un sistema para la representación y el procesamiento de la magnitud numérica. Además, este sistema puede caracterizarse claramente con efectos tales como el efecto de distancia y de ratio (o mediante tareas de estimación). Estos efectos han llevado a los

investigadores a sugerir que nuestra representación de la magnitud numérica es aproximada e inexacta. En términos generales, el hecho de que se produzcan estos efectos cuando se realizan tareas en las que se comparan magnitudes numéricas no simbólicas (conjuntos de puntos) sugiere que tenemos los números representados en una metafórica línea numérica mental y por tanto cuanto más cercanos están los números, más se complica la tarea de discriminación entre tales numerosidades. Además, a medida que el tamaño de las magnitudes numéricas representadas en la recta numérica mental aumenta, también lo hace su solapamiento, haciendo que las magnitudes numéricas relativamente grandes sean más difíciles de estimar y discriminar unas de otras que las magnitudes numéricas más pequeñas.

Pero lo que de verdad nos ocupaba en este trabajo, era entender cómo los niños, una vez que adquieren los símbolos numéricos (números arábigos, palabras numéricas, números romanos...) que son aportados por la cultura, les asignan un significado. Son muchos los trabajos en los que se aplicaba la tarea de comparación de magnitudes, en este caso simbólicas. Los investigadores encontraron que el patrón de respuesta en esta tarea era muy similar al que encontraban en las anteriores tareas de comparación de magnitudes no simbólicas, replicándose los efectos de distancia y ratio. Esto es, cuando los participantes contestaban cuál de los dos números simbólicos que se les presentaban era mayor, tardaban más en dar la respuesta cuando estos números se encontraban cercanos y, aún más cuando eran números grandes.

Estas similitudes llevaron a los investigadores a plantearse la hipótesis de que los números simbólicos y no simbólicos se apoyan en un mismo sistema de representación y por tanto comparten representaciones. De esta manera, cuando los niños aprenden los símbolos numéricos, éstos adquieren significado al proyectarse sobre las representaciones aproximadas preexistentes. Son muchos los trabajos que apoyan esta idea, y no solo estudios basados en las respuestas conductuales de los participantes, sino también los basados en estudios en los que se utilizan técnicas de neuroimagen. Sin embargo, varios trabajos en los que se ha intentado replicar los efectos distancia y ratio, muestran resultados contradictorios encontrando dichos efectos en un porcentaje muy bajo de los participantes.

Por tanto, hasta la fecha, el campo de la cognición numérica se ha decantado por la idea de que los números simbólicos adquieren su significado proyectándose en las representaciones aproximadas del SNA. Sin embargo, en los últimos años ha emergido un nuevo grupo de trabajos en los que se pone en duda esta afirmación y actualmente se ha propuesto una hipótesis alternativa que defiende la existencia de un sistema simbólico independiente basado en las asociaciones símbolo-símbolo. Cada vez son más los trabajos científicos en los que se empiezan a utilizar tareas de orden en lugar de las clásicas tareas de comparación de magnitudes, donde los participantes tienen que decidir si un conjunto de 2 o 3 números simbólicos o no simbólicos están en orden o no.

Con este trabajo se pone en evidencia que, pese a que hay muchos estudios en los que se investiga este tópico, los resultados no parecen ser concluyentes. Es importante que en este campo tan amplio de la cognición numérica se lleven a cabo más estudios en los que se utilicen tanto tareas de comparación como tareas de orden para poder aclarar la disyuntiva en la que nos encontramos actualmente. También es importante que se realicen más trabajos en los que se incluyan medidas en ejecución matemática, puesto que si las magnitudes numéricas simbólicas y no simbólicas, comparten un sistema para su representación, explicarán en igual medida el rendimiento en matemáticas. Sin embargo, en nuestro trabajo no incluimos la revisión en este campo de investigación puesto que nos extenderíamos demasiado.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agrillo, C., Dadda, M., Serena, G., & Bisazza, A. (2008). Do fish count? Spontaneous discrimination of quantity in female mosquitofish. *Animal Cognition*, 11, 495–503. <http://dx.doi.org/10.1007/s10071-008-0140-9>

- Agrillo, C., Dadda, M., Serena, G., & Bisazza, A. (2009). Use of number by fish. *PLoS ONE*, *4*, e4786. <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0004786>
- Agrillo, C., Piffer, L., & Biasza, A. (2011). Number versus continuous quantity in numerosity judgments by fish. *Cognition*, *119*, 281-287.
- Ansari, D. (2008). Effects of development and enculturation on number representation in the brain. *Nature Reviews. Neuroscience*, *9*(4), 278-291.
- Ansari, D. (2009). Neuroimaging of numerical and mathematical development. En *Encyclopedia of Language and Literacy Development* (pp. 1-8). London, ON: Canadian Language and Literacy Research Network.
- Ansari, D., Garcia, N., Lucas, E., Hamon, K., & Dhital, B. (2005). Neural correlates of symbolic number processing in children and adults. *Neuroreport*, *16*, 1769-1773.
- Ansari, D., Fugelsang, J.A., Dhital, B., & Venkatraman, V. (2006). Dissociating response conflict from numerical magnitude processing in the brain: An event-related fMRI study. *NeuroImage*, *32*(2), 799-805.
- Barth, H., La Mont, K., Lipton, J., & Spelke, E. S. (2005). Abstract number and arithmetic in preschool children. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, *102*(39), 14116-14121.
- Bogale, B. A., Kamata, N., Mioko, K., & Sugita, S. (2011). Quantity discrimination in jungle crows, *Corvus macrorhynchos*. *Animal Behaviour*, *82*, 635-641. <http://dx.doi.org/10.1016/j.anbehav.2011.05.025>
- Brannon, E. M. (2006). The representation of numerical magnitude. *Current Opinion in Neurobiology*, *16*, 222-229.
- Brannon, E.M., & Terrace, H.S. (1998). Ordering of the numerosities 1-9 by monkeys. *Science*, *282*, 746-749.
- Butterworth, B. (2005). The development of arithmetical abilities. *Journal of Child Psychology and Psychiatry*, *46*, 3-18.
- Cappelletti, M., Barth, H., Fregni, F., Spelke, E. & Pascual-Leone, A. (2007). rTMS over the intraparietal sulcus disrupts numerosity processing. *Experimental Brain Research*, *179*(4), 631-642.
- Cohen Kadosh, R., Bahrami, B., Walsh, V., Butterworth, B., Popescu, T., & Price, C. J. (2011). Specialization in the human brain: The case of numbers. *Frontiers in Human Neuroscience*, *5*, 62.
- Cohen Kadosh, R., Lammertyn, J., & Izard, V. (2008). Are numbers special? An overview of chronometric, neuroimaging, developmental and comparative studies of magnitude representation. *Progress in Neurobiology*, *84*, 132-147. <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301008207002110>
- Cohen, R., Cohen, K., Schumann, T, Daas, A., Goebel, R., Henik, A. & Sack, A. (2007). Virtual dyscalculia induced by parietal lobe TMS impairs automatic magnitude processing. *Current Biology*, *17*(8), 689-693.
- Cantlon, J. F., & Brannon, E. M. (2006). Shared system for ordering small and large numbers in monkeys and humans. *Psychological Science*, *17*, 401-406. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1467-9280.2006.01719.x>
- Cantlon, J. F., Brannon, E. M., Carter, E. J., & Pelphrey, K. A. (2006). Functional imaging of numerical processing in adults and 4-y-old children. *PLoS Biology*, *4*(5), e125.



- Carey, S. (2001). Cognitive foundations of arithmetic: evolution and ontogenesis. *MindLang*, 16, 37–55. doi:10.1111/1468-0017.00155
- Davis, H. & Memmott, J. (1982). Counting behavior in animals: a critical evaluation. *Psychological Bulletin*, 92, 547-571.
- Davis, H. & Perusse, R. (1988). Numerical competence in animals: definitional issues, current evidence and a new research agenda. *Journal of Behavioral and Brain Science*, 11, 561-579.
- Dehaene, S. (1997). *The number sense*. New York, NY: Oxford University Press.
- Dehaene, S., Piazza, M., Pinel, P., & Cohen, L. (2003). Three parietal circuits for number processing. *Cognitive neuropsychology*, 20(3-6), 487-506.
- Dehaene, S., Dupoux, E., & Mehler, J. (1990). Is numerical comparison digital? Analogical and symbolic effects in two-digit number comparison. *Journal of Experimental Psychology: Human Perception and Performance*, 16, 626–641. <http://dx.doi.org/10.1037/0096-1523.16.3.626>
- Duncan, G. J., Dowsett, C. J., Claessens, A., Magnuson, K., Huston, A., Dlebanov, P., et al. (2007). School readiness and later achievement. *Developmental Psychology*, 43(6), 1428-1446.
- Eger, E., Michel, V., Thirion, B., Amadon, A., Dehaene, S., & Kleinschmidt, A. (2009). Deciphering cortical number coding from human brain activity patterns. *Current Biology*, 19, 1608–1615. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cub.2009.08.047>
- Feigenson, L., Dehaene, S., & Spelke, E. (2004). Core systems of number. *Trends in Cognitive Sciences*, 8(7), 307–314.
- Fias, W., Lammertyn, J., Caessens, B. & Orban, G. A. (2007). Processing of abstract ordinal knowledge in the horizontal segment of the intraparietal sulcus. *The Journal of Neuroscience*, 27, 8952-8956.
- Fias, W., Lammertyn, J., Reynvoet, B., Dupont, P. & Orban, G. A. (2003). Parietal representation of symbolic and nonsymbolic magnitude. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 15, 47-56.
- Geary, D. C., Berch, D. B., & Mann Koepke, K. (Eds.), (2015). *Evolutionary origins and early development of number processing*. San Diego, CA: Academic Press.
- Hauser, M.D., Carey, S., Hauser, L.B. (2000). Spontaneous number representation in semifree-ranging rhesus monkeys. *Proceedings of the Royal Society of London B Biological Sciences*, 267:829–33.
- Hauser, M. D., Tsao, F., Garcia, P., & Spelke, E. S. (2003). Evolutionary foundations of number: spontaneous representation of numerical magnitudes by cotton-top tamarins. *Proceedings of the Royal Society, London, B* 270: 1441-1446.
- Hause, M.D., MacNeilage, P. & Ware, M. (1996). Numerical representations in primates. *Proceedings of the National Academy of Sciences, USA*, 93, 1514-1517.
- Holloway, I. D. & Ansari, D. (2010). Developmental specialization in the right intraparietal sulcus for the abstract representation of numerical magnitude. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 22, 2627–2637. [http:// dx.doi.org/10.1162/jocn.2009.21399](http://dx.doi.org/10.1162/jocn.2009.21399)
- Holloway, I. D., Price, G. R., & Ansari, D. (2010). Common and segregated neural pathways for the processing of symbolic and nonsymbolic numerical magnitude: An fMRI study. *NeuroImage*, 49, 1006–1017. <http://dx.doi.org/10.1016/j.neuroimage.2009.07.071>

- Hyde, D. C., Boas, D. A., Blair, C., & Carey, S. (2010). Near-infrared spectroscopy shows right parietal specialization for number in pre-verbal infants. *NeuroImage*, *53*(2), 647-652.
- Izard, V., Dehaene-Lambertz, G., & Dehaene, S. (2008). Distinct cerebral pathways for object identity and number in human infants. *PLoS Biology*, *6*(2), e11.
- Kaufmann, L., Koppelstaetter, F., Delazer, M., Siedentopf, C., Rhomberg, P., Golaszewski, S., et al. (2005). Neural correlates of distance and congruity effects in a numerical Stroop task: An event-related fMRI study. *NeuroImage*, *25*(3), 888–898.
- Kolkman, M. E., Kroesbergen, E. H., & Leseman, P. P. (2013). Early numerical development and the role of non-symbolic and symbolic skills. *Learning and Instruction*, *25*, 95-103.
- Leibovich, T., Ashkenazi, S., Rubinsten, O., & Henik, A. (2013). Comparative judgments of symbolic and non-symbolic stimuli yield different patterns of reaction times. *Acta Psychologica*, *144*, 308–315. <http://dx.doi.org/10.1016/j.actpsy.2013.07.010>
- Lyons, I. M., Ansari, D., & Beilock, S. L. (2012). Symbolic estrangement: Evidence against a strong association between numerical symbols and the quantities they represent. *Journal of Experimental Psychology: General*, *141*, 635–641. <http://dx.doi.org/10.1037/a0027248>
- Lyons, I. M., Nuerk, H-C., & Ansari, D. (2015). Rethinking the implications of numerical ratio effects for understanding the development of representational precision and numerical processing across formats. *Journal of Experimental Psychology: General*. Advance online publication. <http://dx.doi.org/10.1037/xge0000094>
- McComb, K., Packer, C., & Pusey, A. (1994). Roaring and numerical assessment in contests between groups of female lions, *Panthera leo*. *Animal Behaviour*, *47*, 379–387. <http://dx.doi.org/10.1006/anbe.1994.1052>
- Meck, W. H., & Church, R. M. (1983). A mode control model of counting and timing processes. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, *9*, 320–334. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/6886634>. <http://dx.doi.org/10.1037/0097-7403.9.3.320>
- Menon, V., Rivera, S. M., White, C. D., Glover, G. H. & Reiss, A. L. (2000). Dissociating prefrontal and parietal cortex activation during arithmetic processing. *NeuroImage*, *12*, 357-365.
- Mundy, E., & Gilmore, C. K. (2009). Children's mapping between symbolic and nonsymbolic representations of number. *Journal of experimental child psychology*, *103*(4), 490-502.
- Mussolin, C., Nys, J., Content, A., & Leybaert, J. (2014). Symbolic number abilities predict later approximate number system acuity in preschool children. *PLoS ONE*, *9*, e91839. <http://dx.doi.org/10.1371>
- Nieder, A., & Dehaene, S. (2009). Representations of number in the brain. *Annual Review of Neuroscience*, *32*, 185-208.
- Nieder, A., Freedman, D. J., & Miller, E. K. (2002). Representation of the quantity of visual items in the primate prefrontal cortex. *Science*, *297*, 1708–1711. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1072493>
- Noël, M.-P., & Rousselle, L. (2011). Developmental changes in the profiles of dyscalculia: an explanation based on a double exact-and- approximate number representation model. *Front. Hum. Neurosci.* *5*:165. doi: 10.3389/fnhum.2011.00165
- Pahl, M., Si, A., & Zhang, S. (2013). Numerical cognition in bees and other insects. *Frontiers in Psychology*, *4*, 162.

- Piazza, M., Pinel, P., Le Bihan, D., and Dehaene, S. (2007). A magnitude code common to numerosities and number symbols in human intraparietal cortex. *Neuron* 53, 293–305. doi:10.1016/j.neuron.2006.11.022
- Pinel, P., Le Clec, H. G., van de Moortele, P. F., Naccache, L., Le Bihan, D., & Dehaene, S. (1999). Event-related fMRI analysis of the cerebral circuit for number comparison. *Neuroreport*, 10(7), 1473–1479.
- Platt, J. R., & Johnson, D. M. (1971). Localization of position within a homogeneous behavior chain. Effects of error contingencies. *Learning and Motivation*, 2, 386-414.
- Raven, J. C., Court, J. H., & Raven, J. (1992). *Standard progressive matrices*. Oxford: Oxford Psychologists Press.
- Reynvoet, B., & Sasanguie, D. (2016). The Symbol Grounding Problem Revisited: A Thorough Evaluation of the ANS Mapping Account and the Proposal of an Alternative Account Based on Symbol–Symbol Associations. *Frontiers in Psychology*, 7, 1581. <http://doi.org/10.3389/fpsyg.2016.01581>
- Sasanguie, D., Defever, E., Maertens, B., & Reynvoet, B. (2014). The approximate number system is not predictive for symbolic number processing in kindergarteners. *Quarterly Journal of Experimental Psychology*, 67, 271–280. <http://doi.org/10.1080/17470218.2013.803581>
- Vos, H., Sasanguie, D., Gevers, W. & Reynvoet, B. (2017). The role of general and number-specific order processing in adults' arithmetic performance. *Journal of Cognitive Psychology*, DOI: 10.1080/20445911.2017.1282490.
- Wagner, J. B., & Johnson, S. C. (2011). An association between understanding cardinality and analog magnitude representations in preschoolers. *Cognition*, 119, 10–22. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cognition.2010.11.014>
- Watanabe, S. (1998). Discrimination of “four” and “two” by pigeons. *The Psychological Record*. Recuperado de <http://opensiuc.lib.siu.edu/tpr/vol48/iss3/3>
- Whalen, J., Gallistel, C. R., & Gelman, R. (1999). Non-verbal counting in humans: The psychophysics of number representation. *Psychological Science*, 10, 130-137.
- Wilson ML, Hauser MD, Wrangham RW. 2001. Does participation in intergroup conflict depend on numerical assessment, range location, or rank for wild chimpanzees? *Animal Behaviour*, 61:1203–16