**Rodríguez, J. ; Martí, E. ; Salsa, A.**

# *La naturaleza semiótica de los conocimientos numéricos: aportes al campo de la educación*

# *The semiotic nature of number knowledge: contributions to the educational field*

Revista de Psicología Vol. 12, Nº 23, 2016

ISSN 1669-2438
ISSN-electrónico 2469-2050
Revista de Psicología. Año 2016. Vol. 12, Nº 23, pp. 67-79

# La naturaleza semiótica de los conocimientos numéricos: aportes al campo de la educación

*The Semiotic Nature of Number Knowledge: Contributions to the Educational Field*

Rodríguez, J. *
Martí, E. **
Salsa, A. ***

## Resumen

En este artículo planteamos que los sistemas semióticos (signos gestuales, lingüísticos, gráficos) no son solo distintos soportes del número sino que, en tanto elementos constitutivos de nuestra cognición, actúan como organizadores nucleares de los conocimientos numéricos. En primer lugar, revisamos críticamente las perspectivas de Piaget y del neonativismo para poner en evidencia el lugar subsidiario que otorgan a los componentes semióticos en la elaboración del número. En segundo lugar, identificamos y analizamos las particularidades y complejidad cognitiva de diferentes formas de representación del número para, finalmente, brindar una reflexión acerca del uso de imágenes y objetos simbólicos como materiales concretos para la enseñanza de las matemáticas con niños pequeños.

*Palabras clave:* número, cantidad, sistemas semióticos, materiales concretos

## Abstract

In this article we argue that semiotic systems (gestural, linguistic, graphic signs) are not only different supporting tools of number but, as constitutive elements of our cognition, they act as nuclear organizers of number knowledge. First, we review the Piagetian and neonativist perspectives in order to reveal the subsidiary role that they give to semiotic components in the acquisition of number. Second, we identify and analyse the particularities and cognitive complexity of different kinds of number representations in order to, finally, provide a reflexion regarding the use of pictures and symbolic objects as concrete materials for mathematics teaching to young children.

* Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas; Instituto Rosario de Investigaciones en Ciencias de la Educación (IRICE) – CONICET. Mail: jrodriguez@irice-conicet.gov.ar
** Departamento de Psicología Evolutiva y de la Educación, Facultad de Psicología, Universidad de Barcelona. Mail:emarti@ub.edu
*** Instituto Rosario de Investigaciones en Ciencias de la Educación (IRICE) – CONICET. La correspondencia debe ser remitida a Analía Salsa. IRICE (CONICET). Bv. 27 de Febrero 210 bis. 2000, Rosario. Argentina. Fax: + 54 341 4821772. Mail: salsa@irice-conicet.gov.ar
Fecha de recepción: 12 de abril de 2016 - Fecha de aceptación: 3 de junio de 2016

*Key words:* number, quantity, semiotic systems, concrete materials

## *La naturaleza semiótica de los conocimientos numéricos: aportes al campo de la educación*

La comprensión del número por parte de los niños y los mecanismos que subyacen al desarrollo de este conocimiento están en el centro de los debates científicos actuales en Psicología y Educación. La pregunta acerca de cómo surgen los conocimientos numéricos, particularmente la noción de cantidad, ha sido abordada por perspectivas teórico-metodológicas muy disímiles, desde posiciones fuertemente innatistas hasta abordajes en los que se considera que los conocimientos numéricos se elaboran en contexto. En este artículo nos proponemos realizar una revisión crítica de investigaciones que se enmarcan en estas perspectivas para plantear el escaso interés que ha recibido el papel jugado por los sistemas semióticos en los conocimientos numéricos tempranos. Partimos de la idea de que los sistemas semióticos (signos gestuales, lingüísticos, gráficos) no son solo distintos soportes del número que operan como apoyos externos del pensamiento; son elementos constitutivos de nuestra cognición que poseen una función instrumental actuando como organizadores nucleares de los conocimientos numéricos. Como intentaremos demostrar, estos argumentos poseen claras repercusiones evolutivas y educativas.

En la primera parte del artículo presentamos sintéticamente dos perspectivas clásicas en la investigación del desarrollo numérico, por un lado el paradigma piagetiano que enfatiza el rol de las operaciones lógicas en la construcción del número y, por el otro, la perspectiva neonativista y su hipótesis de la competencia numérica innata. El propósito de esta revisión es poner en evidencia el lugar subsidiario que ambos enfoques otorgan a los componentes semióticos en la elaboración del número, particularmente en las primeras etapas del desarrollo.

En la segunda parte del artículo nos centramos en la naturaleza semiótica del número: postulamos cuáles son las principales diferencias entre distintas formas de representación del número, las particularidades y la complejidad cognitiva de cada una y discutimos estudios empíricos que comparan los efectos del formato representacional en la comprensión de la cantidad.

Finalmente, desde hace unas décadas, desde el campo de la didáctica se ha destacado la importancia de los elementos semióticos en el aprendizaje de las matemáticas (Pimm, 1987). En la última parte del artículo pretendemos aportar una reflexión sobre el uso de objetos e imágenes como materiales concretos para la enseñanza del número en los inicios de la escolarización formal.

## *El debate entre la construcción lógica del dominio numérico y la competencia numérica innata. La perspectiva piagetiana*

Piaget y sus colaboradores investigaron en profundidad cómo los niños llegan a comprender el número (Piaget & Inhelder, 1966; Piaget & Szeminska, 1941). La propuesta piagetiana pone el énfasis en la necesidad de la estructuración lógica del dominio numérico que los niños elaboran en su interacción con el mundo de los objetos. Desde esta óptica se defiende que el número necesita tanto las operaciones de seriación (que permiten ordenar cantidades diferentes) como las de clasificación (que permiten entender que cada cantidad está incluida en la siguiente – el uno en el dos, el dos en el tres, etc.). El concepto de número se construye paulatinamente, pero no surge del manejo de la serie numérica oral convencional ni de las actividades de contar colecciones de objetos; se desarrolla a partir de la capacidad de operar de manera lógica, a través de las operaciones de clasificación y seriación, sobre un conjunto de objetos discretos para extraer un invariante.

Por ejemplo, en la tarea de conservación del número, se presentan al niño dos filas de siete fichas y se le pregunta cuál tiene más. Si las fichas en las dos filas están alineadas en una en las dos filas están alineadas en una correspondencia uno a uno, entonces los niños de 4 y 5 años suelen responder que hay la misma cantidad de fichas en ambas. Si una de las filas está más separada, de modo tal que la correspondencia uno a uno no sea perceptualmente obvia, los niños de esta edad suelen responder que la fila más larga posee más fichas, aunque puedan contar correctamente los elementos de las hileras. Este tipo de justificación llevó a Piaget y sus colaboradores a argumentar que estos niños se basan en cómo *se ven* las filas y no en una comprensión conceptual del número. Una comprensión del número requeriría que los niños respondieran que, luego de la transformación, la cantidad de fichas en cada fila sigue siendo la misma, incluso si se ven diferentes entre sí. Los niños no brindan este tipo de justificación hasta la etapa de las operaciones concretas (hacia los 6 ó 7 años), momento en que es posible la coordinación entre las operaciones de seriación y de clasificación.

Los estudios pioneros de Piaget dieron lugar a un conjunto importante de investigaciones (ver por ejemplo Kamii, 1985) pero también fueron cuestionados desde otras perspectivas entre las que se destaca la perspectiva neonativista.

## *Conocimiento numérico innato*

El neonativismo sostiene que desde el nacimiento los seres humanos poseemos conocimientos de naturaleza implícita y específicos de dominio relativos a los distintos aspectos de la experiencia con el mundo: los objetos físicos, el mundo social, el lenguaje, el entorno viviente y animado, el número (Hirschfeld & Gelman, 1994). Esta perspectiva, dominante en el estudio del número desde los años 80(Geary, 2006) y que encuentra hasta hoy un apogeo importante, desafía los postulados piagetianos que defienden la importancia de las capacidades generales de razonamiento en el desarrollo.

Gelman y Gallistel (1978) sostienen que las representaciones de los números enteros positivos forman parte de la dotación cognitiva innata. Según este punto de vista, el conocimiento del contar y de la cantidad es producto de un sistema innato de símbolos no verbales cuyo despliegue conforma tres principios de conteo implícitos constitutivos de los números enteros: los principios de correspondencia uno a uno, de orden estable y de cardinalidad. El principio de correspondencia uno a uno establece que "al enumerar una colección, una y solo una (palabra número) debe ser asignada a cada ítem en el conjunto" (Gelman & Gallistel, 1978, p. 90); el principio del orden estable indica que "(las palabras número)usadas en un conteo deben ser usadas en el mismo orden en cualquier conteo" (p. 94); y el principio de cardinalidad postula que "(la palabra número) aplicada al ítem final en el conjunto representa el número de ítems en esa colección" (p. 80).

Esta postura es conocida como la *hipótesis de la continuidad o de los principios primero*, ya que estos principios no verbales de conteo guían la adquisición de la lista de conteo verbal. Según Gelman y Gallistel (1978):

> Uno podría argumentar que la habilidad de recitar secuencias de palabras número al contar precede y forma una base para la inducción de principios de conteo. Nosotros, sin embargo, sostenemos la hipótesis opuesta: un conocimiento de principios de conteo sienta las bases para la adquisición de habilidades de conteo. (p. 204, la traducción es nuestra)

De acuerdo con estos autores, incluso los niños de 2 años honran estos principios cuando cuentan porque los principios son intuitivamente comprendidos.

Ahora bien, como Wynn (1990, 1992) ha demostrado, aunque los niños se inician en el conteo verbal a partir de los 2 años, la mayoría de ellos no comprende el funcionamiento de la rutina de conteo hasta al menos dos años más tarde. Para esta autora, los principios de cómo contar, en lugar de ser comprendidos desde el comienzo del desarrollo, son elaborados gradualmente. Los niños aprenden el significado cardinal de las palabras número, esto es que la palabra tres se refiere al valor cardinal tres, lentamente y en orden, llevándoles cerca de un año desde el momento en que pueden producir exitosamente una colección de tamaño 1, dame un juguete, hasta el momento en que pueden producir colecciones de tamaño 4 o más, *dame cuatro juguetes*, algo que suele ocurrir entre los 2 y 4 años (Condry & Spelke, 2008; Huang, Spelke & Snedeker, 2010; Sarnecka & Carey, 2008; Sarnecka & Lee, 2009). Una vez que pueden producir colecciones mayores que cuatro, los niños han elaborado el mencionado principio de cardinalidad. Adquirir este principio es un hito importante en el desarrollo de los conocimientos numéricos porque a partir de ese momento los niños pueden corregir sus errores cuando producen colecciones de un determinado cardinal, pueden relacionar colecciones de tamaños disímiles basándose en sus cantidades y comprender que al añadir un elemento a una colección su cardinal aumenta exactamente en uno. Dado que esta propuesta sostiene que los recursos representacionales de los niños sufren un cambio cualitativo drástico cuando adquieren los principios de conteo, ha sido denominada *hipótesis de la discontinuidad o de los principios después* (Le Corre, Van de Walle, Brannon & Carey, 2006; Wynn, 1990).

Más allá del debate acerca de una adquisición progresiva o no de los significados cardinales de las palabras número y de los principios de conteo, todos estos estudios sostienen que el desarrollo de los conocimientos numéricos que se observa en la etapa preescolar descansa en la competencia numérica innata de los bebés, entendida como la capacidad natural de representar colecciones y sus valores cardinales aproximados (Spelke, 2000; Wynn, 1997). Sobre este sistema de conocimiento básico se añaden conocimientos nuevos, como ladrillos de una construcción, hasta alcanzar habilidades numéricas más complejas (Spelke, 2000).

### *La subordinación de lo semiótico*

Como hemos mencionado, los paradigmas de Piaget y del neonativismo no consideran el papel de los sistemas semióticos en el desarrollo de los conocimientos numéricos ni, por ende, de los contextos en los que surgen dichos conocimientos: para ambos paradigmas tanto el origen de los signos como el proceso de su apropiación no tienen una naturaleza social. En la propuesta piagetiana los signos son producto de un proceso evolutivo general, la función semiótica, que se manifiesta por medio de diversas formas de representación, ya sean internas o externas, la imagen mental, el juego simbólico, el lenguaje, el dibujo. (Piaget & Inhelder, 1966). El desarrollo de esta capacidad general está determinado por la creciente coordinación de los esquemas de acción que caracterizan los primeros 18 meses de vida y que van dando lugar a los significados del pensamiento preoperatorio. El componente semiótico (o significante de la representación), es para Piaget un aspecto complementario, es simplemente un medio para que se exprese el significado que se busca evocar (Martí, 2012).

Los sistemas semióticos son considerados entonces instrumentos utilizados por los sujetos como base de sus procesos cognitivos y, al mismo tiempo, medios transparentes para conocer esos procesos. La idea subyacente en la concepción piagetiana es que los procesos cognitivos se desarrollan independientemente de los sistemas semióticos, y que estos últimos funcionan como soporte material de esos procesos: las acciones y su coordinación son las que explican el cambio cognitivo. Por el contrario, la idea que aquí defendemos es que los sistemas de signos son inherentes y constitutivos de los procesos de pensamiento; son aspectos esenciales en la estructuración de la cognición humana. De este modo, no podemos hablar simplemente de un desarrollo general de la simbolización sin considerar las particularidades de cada signo y del dominio de conocimiento al cual refiere.

En las investigaciones enmarcadas en la perspectiva neonativista, los signos y las prácticas sociales que posibilitan su adquisición son aún menos tenidos en cuenta. Por un lado, los estudios que indagan las capacidades numéricas tempranas emplean indistintamente estímulos lingüísticos (palabras número), gráficos (dibujos y fotografías), auditivos (secuencias de golpes), sin considerar las relaciones recíprocas entre la naturaleza de estos estímulos y las habilidades numéricas que pretenden examinar (para una revisión ver Rodríguez & Scheuer, 2015). Por otro lado, los estudios transculturales realizados desde esta perspectiva (Dehaene, Izard, Pica & Spelke, 2006), en lugar de valorar las diferencias culturales y explorar de qué manera habilitan la construcción de diversos sistemas semióticos del número, solo toman el componente sociocultural para desecharlo como variable explicativa.

## *El componente semiótico en el desarrollo de los conocimientos numéricos. Sistemas semióticos y construcción social del conocimiento*

Una alternativa a los modelos hasta aquí revisados está constituida por las investigaciones que, siguiendo las ideas pioneras de Vygotsky (1962, 1978) acerca del rol de la mediación semiótica en el funcionamiento cognitivo, estudian la elaboración de los conocimientos numéricos en el marco de prácticas culturales, en comunidades de distintas culturas y en poblaciones de diferentes estratos socioeconómicos al interior de las sociedades occidentales (Gunderson & Levine, 2011; Levine, Suriyakham, Rowe, Huttenlocher & Gunderson, 2010; Sandhofer, Moore, Russell & Mix, 2012; Saxe, 1982, 1991; Saxe, Guberman & Gearhart, 1987). Si bien estos trabajos recuperan el valor de la construcción social de los conocimientos numéricos tempranos, en general no ofrecen una reflexión en profundidad sobre la influencia de los componentes semióticos en la explicación del desarrollo y aprendizaje numéricos.

Una excepción a este argumento podría encontrarse en el trabajo de Saxe, Guberman y Gearhart (1987), quienes intentan dar cuenta de cómo los conocimientos numéricos resultan de la apropiación de las formas culturales a las que los niños se aproximan en contextos de interacción social. En el desarrollo numérico serían centrales las nociones de forma y función. Las formas numéricas son las construcciones simbólicas y los procedimientos de resolución de problemas que sirven a las funciones numéricas (cardinalizar, comparar dos valores numéricos, operar aritméticamente). Ejemplos de estas construcciones simbólicas son la serie numérica, los sistemas de numeración, los sistemas métricos, el sistema monetario; los procedimientos de uso social de estas formas son el conteo o las cuentas elementales. Todas éstas son formas culturales, productos que han sido elaborados en la historia social y que están a disposición de la sociedad para ser utilizados por los individuos con diferentes objetivos (ver también Scheuer, Bressan & Merlo de Rivas, 2001).

Como hemos planteado, el desarrollo de los conocimientos numéricos no puede reducirse a una serie de competencias y operaciones cognitivas ajenas a las formas numéricas que las hacen posibles y sus usos culturales. No obstante, el trabajo de Saxe, Guberman y Gearhart (1987) parecería limitarse a mostrar cómo los niños se apropian de estas formas culturales en contexto. Nuestra perspectiva va un paso más allá: los sistemas semióticos organizan, refinan y transforman los conocimientos numéricos, por lo que los niños deben reconstruir los significados de estos sistemas para usarlos como instrumentos del pensamiento (Martí, 2003, 2012; Nunes & Bryant, 1996; Nunes, 1997; Pérez-Echeverría & Scheuer, 2005; Tolchinsky, 2003).

En este punto es necesario clarificar las particularidades y la complejidad cognitiva que atribuimos a los sistemas semióticos. Una primera característica concierne a la diferencia entre sistemas semióticos de carácter *efímero* y *permanente*. Los primeros se despliegan en el tiempo, han de ser interpretados en el momento de su producción y difícilmente podrán ser registrados de forma de ser utilizados más adelante; las palabras número y los gestos numéricos serían ejemplos de este tipo de signos. En cambio, los sistemas de numeración y las imágenes y los objetos que transmiten información numérica se inscriben en el espacio y tienen una existencia concreta que facilita su manipulación y su conservación de una generación a otra. El carácter material de estos signos permanentes permite su uso en nuevos contextos o situaciones, y por tanto una mayor flexibilidad representacional, que es un rasgo definitorio de un buen aprendizaje (Pozo, 2008). Los signos permanentes suelen denominarse *representaciones externas* (Teubal & Guberman, 2014; Tolchinsky, 2003) o *sistemas externos de representación* (Martí, 2003; Martí & Pozo, 2000; Pérez-Echeverría & Scheuer, 2005). Como veremos más adelante, esta distinción entre representaciones permanentes y efímeras tiene importantes repercusiones evolutivas y en el campo educativo.

Una segunda característica se refiere al dominio de conocimiento al que los distintos signos remiten. Está claro que cada sistema semiótico se ha ido configurando en un dominio conceptual (el numérico, el lingüístico, el espacial, el musical) y buena parte de las restricciones propias del dominio de conocimiento repercuten en el modo de representarlo. Por ejemplo, el sistema de notación numérica fue creado para representar con exactitud la cantidad. Pero frecuentemente se utilizan también algunas propiedades del sistema para representar aspectos no directamente vinculados con el dominio correspondiente (por ejemplo, un número para referir e identificar a una persona en concreto y no a una cantidad) y, en dirección opuesta, podría usarse otro sistema diferente al numérico (objetos) para representar una cantidad (por ejemplo, una colección de fichas). De modo que la relación no es de subordinación de lo conceptual a lo semiótico: es una relación recíproca en la que lo conceptual, innegablemente, restringe y determina los significados representacionales, pero a la vez las características del signo sirven como modelo y transforman los aspectos conceptuales (García-Mila, Andersen & Rojo, 2010; Olson, 1994). A continuación analizaremos cómo estas características se ponen en juego en el caso específico de las representaciones externas de la cantidad.

### *Representaciones externas y conocimiento temprano de la cantidad*

Un valor cardinal puede ser representado mediante palabras número, numerales arábigos, colecciones de objetos. Pero, ¿cómo influye la forma con la que se representa una cantidad en la comprensión conceptual de esa cantidad? El concepto de número involucra una variedad de información, de naturaleza perceptual y simbólica. A diferencia de otros conceptos, se caracteriza por la posibilidad de tomar existencia en grupos de ítems que varían ampliamente. Por ejemplo, la noción de tres puede representarse con objetos (tres fichas) o imágenes (tres círculos dibujados). También puede incluir grupos de elementos no objetales, tales como acciones (tres saltos), sonidos (tres campanadas) o efectos visuales (tres destellos de luz). Tener el concepto tres implica poder captar la equivalencia de todos estos agrupamientos, más allá de las diferencias aparentes (Mix, Sandhofer & Baroody, 2005). Si bien esto parece ser evidente, muy pocas investigaciones han examinado los efectos de distintos modos de representar la cantidad en el aprendizaje temprano de los niños.

Para considerar estos posibles efectos, es necesario que postulemos algunas distinciones más; en la Figura 1 presentamos estas características, además de las ya enunciadas en el apartado anterior. Los objetos simbólicos y las imágenes se caracterizan por su naturaleza doble: son objetos con determinadas propiedades físicas y simultáneamente formas de representación que remiten a algo diferente. Para usar simbólicamente un objeto o una imagen, los niños necesitan aprender a focalizar su atención en lo que el signo se propone representar más que en sus propiedades físicas; precisan construir y activar al mismo tiempo las representaciones mentales de estas dos dimensiones, lo que DeLoache (1995) ha denominado *representación dual*.

Sin embargo, a pesar de que una imagen es un objeto físico, su función social es ser una representación, a diferencia de los objetos tridimensionales que pueden tener además funciones instrumentales. Los trabajos de DeLoache (1987, 1991) con representaciones espaciales han señalado que cuando los objetos son atractivos y con funciones instrumentales variadas, los niños tienen más dificultad en comprender su significado semiótico (la representación dual es más difícil de establecer). Esto explica que las imágenes, al ser objetos bidimensionales, sean más fácilmente interpretables que los objetos tridimensionales, como los modelos a escala y maquetas.

Otro aspecto en que se diferencian las representaciones externas de la cantidad es el modo en que representan a sus referentes numéricos. La relación de representación no es idéntica en todos los casos. Hay representaciones cuya relación con el referente está *motivada*, es una relación en sentido literal y figurativo (Harris, 1995; Tolchinsky, 2003). Esto ocurre cuando las características de la representación (tamaño, forma, color) remiten directamente a las características del referente, estando la relación definida por el iconicismo o la similitud. Ahora

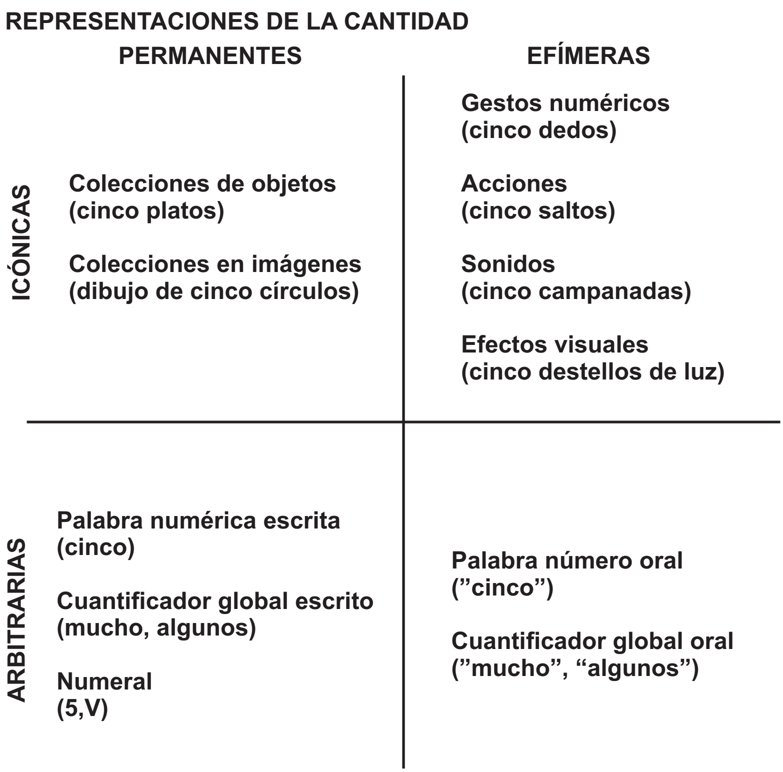


*Figura 1.* Representaciones de la cantidad: dimensión temporal (permanentes vs. efímeras) y modo de representación de la numerosidad (icónicas vs. arbitrarias)

bien, el referente de una cantidad es la numerosidad, que no tiene otra característica más que su tamaño o valor cardinal; en consecuencia, las representaciones icónicas de la cantidad son aquellas que representan iterativamente un valor cardinal (por ejemplo, cinco dedos, cinco tapas o cinco marcas en un papel para representar el valor cardinal cinco) (Wiese, 2007).

De este modo, las colecciones de objetos, las imágenes y los gestos numéricos son representaciones icónicas de la cantidad pues contienen el mismo número de elementos que el valor cardinal referenciado. En cambio, las palabras número en registro oral o escrito, cinco y los numerales arábigos (5) establecen una relación *arbitraria* con lo que representan: un único signo representa un valor cardinal y no existe ninguna correspondencia entre la palabra o el numeral y su significado. Los cuantificadores globales (*muchos, algunos*) podrían ser también considerados representaciones arbitrarias en la medida en que son expresiones lingüísticas aunque, a diferencia de las palabras número y los numerales, no remiten a cantidades precisas pues los niños los utilizan como aproximaciones globales a la cantidad de elementos.

Las soluciones icónicas son una forma frecuente de representación de la cantidad para los niños pequeños: frente a una colección de objetos, los niños forman una colección de objetos o de marcas de igual valor cardinal (Martí & Garcia-Mila, 2010; Sinclair, 1991). Para Wiese (2003, 2007), tanto en la filogenia como en la ontogenia, las representaciones icónicas apuntalan la adquisición de las representaciones arbitrarias. Los gestos numéricos harían posible el desarrollo del orden estable implicado en la enumeración: cuando los dedos son empleados para representar valores cardinales, suelen desplegarse uno a uno en un orden fijo (pulgar, índice, etc.). Repetidas experiencias de enumeración con representaciones icónicas otorgarían un lugar saliente a la última palabra número alcanzada, lo que habilitaría la conexión indexical entre una palabra número individual y el tamaño cardinal de una colección (principio de cardinalidad).

Sin embargo, los estudios empíricos que comparan el uso de representaciones icónicas y arbitrarias de la cantidad en niños preescolares son escasos y no aportan datos concluyentes.

Bialystok y Codd (1996) pidieron a niños de entre 3 y 5 años que seleccionaran de un conjunto de tarjetas aquella que representaba la cantidad de objetos contenidos en una caja; las tarjetas poseían numerales arábigos, colecciones de puntos negros o el dibujo de uno de los objetos. Para los niños fue mucho más sencillo interpretar la información representada con numerales que con las colecciones de puntos. Para los autores, el efecto facilitador de las representaciones arbitrarias sobre las icónicas se debería a que, antes de ingresar a la escuela, los niños se implican muy frecuentemente en situaciones que incluyen palabras número y numerales. Algunas de estas actividades, como las de nombrar una cantidad o reconocer numerales escritos, son culturalmente valoradas por los adultos en las sociedades occidentales.

Nicoladis, Pika y Marenttete (2010) entregaron a niños de entre 2 y 5 años juguetes para que guardaran dentro de una caja la cantidad que un adulto les pedía (entre 2 y 10) usando una palabra número (*Si yo digo tres, ¿cuántos juguetes vas a guardar?*) o un gesto numérico (levantando tres dedos de la mano). Los niños comprendieron más fácilmente la información sobre la cantidad transmitida por las palabras número, registrándose nuevamente un efecto de las representaciones arbitrarias. Estos autores argumentan que los niños aprenderían los gestos numéricos como representaciones arbitrarias, por lo que no sacarían provecho de su naturaleza iterativa para explicitar la relación con la numerosidad representada.

En un estudio reciente (Salsa & Martí, 2015) buscamos determinar si distintos modos de representar la cantidad podrían afectar el desempeño de niños de 4 años al construir colecciones de un cardinal dado. Para ello, empleamos tres formas de representación, dos de ellas icónicas y una arbitraria: fichas (objetos), imágenes (círculos dibujados en tarjetas) y palabras número. Diseñamos una tarea en la que ofrecíamos a los niños un conjunto de objetos (galletas de plástico) y les pedíamos que construyeran colecciones de diversos tamaños (2 a 6) usando la información de la cantidad que transmitían las fichas, las imágenes y las palabras número. Los resultados indican que, en general, el desempeño de los niños fue superior con imágenes, en comparación con las fichas y las palabras número. Las imágenes tuvieron un impacto facilitador cuando los niños construían colecciones de 3 y 4 elementos, colecciones ni muy pequeñas (2 elementos) ni muy grandes (5 y 6 elementos).

Creemos que este estudio apunta dos hechos novedosos. En primer lugar, la manera de representar la cantidad parecería influir en el conocimiento numérico en niños que están en proceso de elaboración de determinados cardinales. En segundo lugar, la hipótesis de la representación dual tendría incidencia en el dominio numérico; las características salientes y la posibilidad de manipular las fichas podrían haber llevado a los niños a centrar su atención en sus propiedades físicas, obstaculizando su comprensión como representaciones de la cantidad. Esta idea es congruente con algunas observaciones realizadas con niños entre 2 y 3 años que aprenden a usar la información numérica de las caras de un dado (colecciones de 1 a 5 puntos), en interacción con sus madres. El juego consistía en atender a los puntos de las caras del dado para avanzar un caballo de juguete por un camino (Martí, Scheuer & de la Cruz, 2013). Para estos niños, una de las dificultades residió en centrarse en los puntos de las caras del dado para poderlos contar o evaluar numéricamente. Muchos de ellos jugaban con el dado, por ejemplo lo usaban como proyectil, pero no atendieron a su función semiótica (Cavalcante & Rodríguez, 2015).

En síntesis, todos estos estudios señalan que distintas formas de representación afectan las respuestas numéricas de los niños. Aportan evidencia también de que este efecto depende de la edad y, por lo tanto, del avance en la comprensión infantil de la cantidad. Resta estudiar todavía con mayor precisión y a través de estudios más controlados experimentalmente el efecto de diferentes formas de representación sobre los conocimientos numéricos.

## *Reflexiones finales: desafiando el uso de objetos e imágenes en la enseñanza*

Lo desarrollado hasta aquí tiene dos objetivos. Primero, revisar críticamente investigaciones sobre la adquisición temprana de conocimientos numéricos, estudios que desde perspectivas teóricas muy diferentes entre sí han relegado, a nuestro entender, el papel de los sistemas semióticos en la elaboración de estos conocimientos. Segundo, a partir de las características específicas de las representaciones externas que hemos identificado, analizamos los obstáculos que los niños han de enfrentar para llegar a usarlas como instrumentos de pensamiento. Aunque el enfoque del artículo es fundamentalmente psicológico, nos permite formular algunas reflexiones finales acerca del uso de objetos e imágenes para la enseñanza de conocimientos numéricos en los inicios de la escolaridad formal. Nos focalizaremos en estas formas de representación porque, a diferencia de las notaciones numéricas, en el campo educativo no se ha puesto todavía el acento en las peculiaridades semióticas de estos materiales (objetos e imágenes).

Bloques, fichas, palillos, atractivas imágenes coloreadas son utilizados usualmente por los docentes para que los niños construyan colecciones de distintos cardinales y para que realicen seriaciones y clasificaciones de acuerdo a las propiedades de los objetos. El empleo de estos materiales se fundamenta en la idea, con una tradición fuerte en Psicología del Desarrollo y en Educación, de que es más sencillo para los niños comprender ciertos conceptos con el apoyo de elementos concretos que hacerlo sin un apoyo material[1].

En las ideas de Montessori (1917) y Piaget (1970) se encuentran las bases de las posiciones educativas que enfatizan los beneficios de aprender a través de la acción y la observación.

Desde la perspectiva piagetiana, los niños focalizan naturalmente su atención en las propiedades de los objetos, en su forma, tamaño, color, y están intrínsecamente motivados para manipular, rotar, ordenar, apilar los objetos que encuentran en su entorno. Se asume, además, que los niños menores de 6 ó 7 años necesitan trabajar con material concreto porque el pensamiento durante esta etapa de la vida es inherentemente concreto. Los niños pequeños que no son capaces de pensar sobre el mundo en términos de conceptos abstractos, desarrollan esta capacidad a través de sus experiencias con los objetos: piensan en forma organizada, lógica, cuando tratan con información concreta que pueden percibir directamente.

Bruner (1966) adopta una posición algo diferente. Para este autor, no importa la edad del aprendiz: cada vez que los niños aprenden un concepto nuevo, el aprendizaje necesita partir de objetos concretos. El desarrollo conceptual ocurre a través de un proceso de internalización del entorno en tres fases, de (1) la acción directa sobre los objetos concretos, a (2) la formación de imágenes de las construcciones concretas, a (3) la adopción de representaciones simbólicas (o signos arbitrarios).

En esta aproximación, se debe utilizar material concreto con los alumnos en tanto la comprensión de conceptos se construye sobre la base de múltiples acciones concretas e imágenes. Por ejemplo, para el concepto cinco una secuencia didáctica sería comenzar con la exploración de colecciones de cinco objetos (fichas, bloques, tapas), pasar a una representación bidimensional icónica de cinco elementos, hasta llegar a la presentación arbitraria del numeral 5 y de las operaciones de composición o descomposición de este valor cardinal (por ejemplo, 3 + 2 = 5). Es más, el aprendizaje y la transferencia exitosa del concepto enseñado sólo es posible si los alumnos experimentan con variados ejemplares de objetos e imágenes: pueden así ir más allá de las propiedades perceptuales de cada ejemplar hacia conceptos más generales y abstractos.

Si bien nuestro propósito no es cuestionar el uso de materiales concretos como soportes semióticos del número, creemos que en el campo educativo también es necesaria una profunda reflexión sobre las particularidades de cada material y sus complejidades cognitivas antes de planificar su empleo sistemático en el proceso de enseñanza-aprendizaje. Veamos algunos ejemplos.

En el diseño de estrategias didácticas suele sostenerse que los objetos tridimensionales no solo atraen la atención sino también estimulan una exploración mayor por parte de los niños, por lo que serían más efectivos que las imágenes para los procesos de aprendizaje, memoria y categorización. No obstante, la noción de representación dual (DeLoache, 1995) nos permite sugerir que el uso epistémico del material manipulativo puede ser más difícil para los alumnos de lo que los docentes generalmente asumen. Al estimular la exploración, los objetos atraerían la atención de los niños hacia sus características físicas, obstaculizando así la interpretación de su naturaleza semiótica (DeLoache, 2000; Uttal, Scudder & DeLoache, 1997). Ejemplos claros del efecto diferencial del uso de imágenes y objetos como soportes de la cantidad los encontramos en algunos de los estudios revisados en el apartado anterior (Calvacante & Rodríguez, 2015; Salsa & Martí, 2015).

Más aún, a la hora de seleccionar objetos como recursos didácticos, los docentes suelen preferir aquellos con características físicas salientes, como colores brillantes y texturas inusuales, bajo la premisa de que estos objetos ayudarían a los niños a mantener su atención focalizada en las tareas propuestas más que los objetos con una apariencia neutra. Este supuesto ha sido cuestionado por Petersen y McNeil (2012), quienes demostraron que la riqueza de los detalles perceptuales dificulta la comprensión de la relación de representación entre una colección de objetos y su numerosidad, sobre todo cuando los niños poseen conocimientos previos acerca de qué son y para qué sirven los objetos con los que trabajan.

Tomar conciencia de que los objetos y las imágenes no son medios inocuos o transparentes sino que cada uno facilita, dificulta, o en todo caso determina los conocimientos numéricos que los niños van elaborando, nos ha llevado a plantear la necesidad de que sean objetos explícitos de enseñanza en las escuelas, por sí mismos (Martí, 2003, 2012; Salsa & Peralta, 2000). Como intentamos demostrar, el simple contacto y la exploración de los niños de estas formas de representación no garantizan su adquisición. En las tareas escolares, cada vez que el docente proponga una actividad que involucre el uso de estos materiales, sería necesario incluir instrucciones explícitas sobre su naturaleza semiótica, para qué sirven y con qué intención deben ser usados, con el objetivo de que los niños comprendan su funcionalidad como medios de representación. Solamente de esta manera objetos e imágenes podrán ser internalizados como instrumentos del pensamiento y su uso llevará a una transformación del conocimiento.

[1] Como expusimos al comienzo del trabajo, el neonativismo postula que los niños poseen un conocimiento abstracto del número ya antes de su escolarización formal, lo que llevaría a reconsiderar la relación unívoca entre etapa del desarrollo cognitivo y uso de material concreto.

## Referencias


Bialystok, E., & Cood, J. (1996). Developing representations of quantity. Canadian Journal of Behavioural Science, 28, 281-291.

Brunner, J. (1966). *Toward a theory of instruction.* Cambridge, MA: Belkapp Press.

Cavalcante, S., & Rodríguez, C. (2015). The understanding of die as an object that has numerical functions. A longitudinal study using two children from the ages of 24 to 36 months interacting with an adult. *Estudios de Psicología, 36*, 48-70.

Condry, K., & Spelke, E. (2008). The development of language and abstract concepts: The case of natural number. *Journal of Experimental Psychology, 137*, 22-38.

Dehaene, S., Izard, V., Pica, P., & Spelke, E. (2006). Core knowledge of geometry in an Amazonian indigene group. *Science, 311*, 381-384.

DeLoache, J. S. (1987). Rapid change in the symbolic functioning of very young children. *Science, 238*, 1556-1557.

DeLoache, J. S. (1991). Symbolic Functioning in Very Young Children: Understanding of Pictures and Models. *Child Development, 62*, 736–752.

DeLoache, J. S. (1995). Early understanding and use of symbols: The model model. *Current Directions in Psychological Science, 4*, 109-113.

DeLoache, J. S. (2002). Symbolic artifacts: Understanding and use. En U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 206-226). London: Blackwell Publishing.

García-Mila, M., Andersen, C., & Rojo, N. (2010). Pensar e "inscribir" mientras se investiga: un estudio de caso. *Cultura y Educación, 22*, 199-213.

Geary, D. C. (2006). Development of mathematical understanding. En D. Kuhl, & R. S. Siegler (Eds.), *Handbook of child psychology. Volume 2. Cognition, perception, and language* (pp. 777-810). New Jersey, NJ: John Wiley & Sons.

Gelman, R., & Gallistel, C. (1978). *The child's understanding of number.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Gunderson, E. A., & Levine, S. C. (2011). Some types of parent number talk count more than others: relations between parents' input and children's cardinal-number knowledge. *Developmental Science, 14*, 1021-1032.

Harris, R. (1995). *Signs of writing.* New York, NY: Routledge.

Hirschfeld, L., & Gelman, S. (1994). *Mapping the mind: Domain specificity in cognition and culture.* New York, NY: Cambridge University Press.

Huang, Y., Spelke, E., & Snedeker, J. (2010). When is four far more than three? Children's generalization of newly-acquired number words. *Psychological Science, 21*, 600-606.

Kamii, C. (1985). *Young children reinvent arithmetic: Implications of Piaget's theory.* New York, NY: Teachers College Press.

Le Corre, M., Van de Walle, G., Brannon, E., & Carey, S. (2006). Re-visiting the competence/performance debate in the acquisition of the counting principles. *Cognitive Psychology, 52*, 130–169.

Levine, S., Suriyakham, L., Rowe, M., Huttenlocher, J., & Gunderson, E. (2010). What Counts in the Development of Young Children's Number Knowledge? *Developmental Psychology, 46*, 1309–1319.

Martí, E. (2003). *Representar el mundo externamente. La adquisición infantil de los sistemas externos de representación.* Madrid: Machado.

Martí, E. (2012). Desarrollo del pensamiento e instrumentos culturales. En M. Carretero, & J. A. Castorina (Eds.), Desarrollo cognitivo y educación (II). *Procesos y contenidos específicos* (pp. 77-100). Buenos Aires: Paidós.

Martí, E., & García-Mila, M. (2010). Progresos en la diferenciación funcional entre dibujo, escritura y numerales en niños de 4 a 7 años. *Estudios de Psicología, 31*, 339-352.

Martí, E., & Pozo, J. I. (2000). Más allá de las representaciones mentales: la adquisición de los sistemas externos de representación. *Infancia y Aprendizaje, 23*, 11-30.

Martí, E., Scheuer, N., & de la Cruz, M. (2013). Symbolic use of quantitative representations in young children. En B. Brizuela & M. Gravel (Eds.), *Show me what you know. Exploring representations across STEM disciplines.* New York, NY: Teachers College Press.

Mix, K., Sandhofer, C., & Baroody, A. (2005). Number words and number concepts. The interplay of verbal and nonverbal quantification in early childhood. *Advances in Child Development and Behavior, 33*, 305-346.

Mix, K., Sandhofer, C., Moore, J., & Russell, C. (2012). *Acquisition of the cardinal word principle: The role of input. Early Childhood Research Quarterly, 27*, 274– 283.

Montessori, M. (1917). *The advanced Montessori method.* Nueva York, NY: Frederick A. Stokes.

Nicoladis, E., Pika, S., & Marentette, P. (2010). Are number gestures easier than number words for preschoolers? *Cognitive Development, 25*, 247-261.

Nunes, T., & Bryant, P. (1996). *Children doing mathematics.* Oxford: Blackwell.

Nunes, T. (1997). Systems of signs and mathematical reasoning. En T. Nunes, & P. Bryant (Eds.), *Learning and teaching mathematics: An international perspective* (pp. 29-44). Hove: Psychology Press.

Olson, D. R. (1994). *The world on paper. The conceptual and cognitive implications of writing and reading.* Cambridge, MA: Cambridge University Press.

Pérez-Echeverría. M. P., & Scheuer, N. (2005). Desde el sentido numérico al número con sentido. *Infancia y Aprendizaje, 28*, 393-407.

Petersen, L., & McNeil, N. (2012). Effects of perceptually rich manipulatives on preschooler's counting performance: Established knowledge counts. *Child Development, 84*, 1020-1033.

Piaget, J. (1970). *Science of education and the psychology of the child.* New York, NY: Orion Press.

Piaget, J., & Inhelder, B. (1966). *La psychologie de l'enfant.* Paris: Presses Universitaires de France.

Piaget, J., & Szeminska, A. (1941). *La genèse du nombre chez l'enfant.* Neuchâtel/Paris: Delachaux et Niestlé.

Pimm, D. (1987). Speaking mathematically: *Communication in mathematics classrooms.* London: Routledge.

Pozo, J. I. (2008). *Aprendices y maestros. La psicología cognitiva del aprendizaje.*

Madrid: Alianza.

Rodríguez, C., & Scheuer, N. (2015). The paradox between the numerically competent baby and the slow learning of two- to four-year-old children. *Estudios de Psicología, 36*, 18-47.

Salsa, A., & Peralta, O. (2000). Implicancias didácticas del uso y la comprensión temprana de símbolos. *Cultura y Educación, 19*, 35-45.

Salsa, A., & Martí, E. (2015). Objects, pictures and words. Effects of representational format on four-year-olds' quantity knowledge. *Estudios de Psicología, 36*, 81–91.

Sarnecka, B., & Carey, S. (2008). How counting represents number: What children must learn and when they learn it. *Cognition, 108*, 662-674.

Sarnecka, B., & Lee, M. (2009). Levels of number knowledge during early childhood. *Journal of Experimental Child Psychology, 103*, 325-337.

Saxe, G. (1982). The development of measurement operations among the Oksapmin of Papua New Guinea. *Child Development, 53*, 1242-1248.

Saxe, G. (1991). *Culture and cognitive development.* New Jersey, NJ: Lawrence Erlbaum Ass.

Saxe, G., Guberman, S., & Gearhart, M. (1987). Social processes in early number development. *Monographs of the Society for Research in Child Development, 52*, 1-162.

Scheuer, N., Bressan, A. & Merlo de Rivas, S. (2001). Los conocimientos numéricos en niños que inician su escolaridad. En Nora Elichiry (Comp.)¿Dónde y cómo se aprende? *Temas en Psicología Educacional* (pp. 99-122). Buenos Aires: Eudeba-JVE.

Sinclair, A. (1991). Children's production and comprehension of written numerical representations. En K. Durkin, & B. Shire (Eds.), *Language in mathematical education* (pp. 59-68). Buckingham, UK: Open University Press.

Spelke, E. (2000). Core knowledge. *American Psychologist, 55*, 1233-1243.Teubal, E., & Guberman, A. (2014). Textos gráficos y alfabetización múltiple. Herramientas para el desarrollo del pensamiento y el aprendizaje en el nivel inicial. Buenos Aires: Paidós.

Tolchinsky, L. (2003). *The cradle of culture and what children know about writing and numbers before being taught. Mahwah,* NJ: Lawrence Erlbaum.

Uttal, D., Scudder, K., & DeLoache, J. S. (1997). Manipulatives as symbols: A new perspective on the use of concrete to teach mathematics. *Journal of Applied Developmental Psychology, 18*, 37-54.

Vygotsky, L. S. (1962). *Thought and language.* New York, NY: Wiley.

Vygotsky, L. S. (1978). *Mind in society: The development of higher psychological processes.* Cambridge, MA: Harvard University Press.

Wiese, H. (2003). Iconic and non-iconic stages in number development: The role of language. *Trends in Cognitive Sciences, 7*, 385-390.

Wiese, H (2007). The co-evolution of number concepts and
counting words. *Lingua, 117*, 758–772.

Wynn, K. (1990). Children's understanding of counting. *Cognition, 36*, 155-193.

Wynn, K. (1992). Children's acquisition of the number words and the counting system. *Cognitive Psychology, 24*, 220-251.

Wynn, K. (1997). Competence models of numerical development. *Cognitive Development, 12*, 333-339.