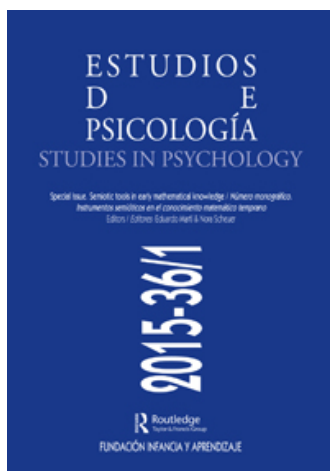


This article was downloaded by: [168.96.15.8]

On: 13 April 2015, At: 08:36

Publisher: Routledge

Informa Ltd Registered in England and Wales Registered Number: 1072954 Registered office: Mortimer House, 37-41 Mortimer Street, London W1T 3JH, UK



Estudios de Psicología: Studies in Psychology

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.tandfonline.com/loi/redp20>

Objects, pictures and words. Effects of representational format on four-year-olds' quantity knowledge /
Objetos, imágenes y palabras. Efectos del formato representacional en el conocimiento de la cantidad a los cuatro años

Analía M. Salsa^a & Eduardo Martí^b

^a Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET)

^b Universidad de Barcelona

Published online: 03 Mar 2015.



CrossMark

[Click for updates](#)

To cite this article: Analía M. Salsa & Eduardo Martí (2015) Objects, pictures and words. Effects of representational format on four-year-olds' quantity knowledge / Objetos, imágenes y palabras. Efectos del formato representacional en el conocimiento de la cantidad a los cuatro años, Estudios de Psicología: Studies in Psychology, 36:1, 71-91, DOI: [10.1080/02109395.2014.1000031](https://doi.org/10.1080/02109395.2014.1000031)

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/02109395.2014.1000031>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Taylor & Francis makes every effort to ensure the accuracy of all the information (the "Content") contained in the publications on our platform. However, Taylor & Francis, our agents, and our licensors make no representations or warranties whatsoever as to the accuracy, completeness, or suitability for any purpose of the Content. Any opinions and views expressed in this publication are the opinions and views of the authors, and are not the views of or endorsed by Taylor & Francis. The accuracy of the Content should not be relied upon and should be independently verified with primary sources of information. Taylor and Francis shall not be liable for any losses, actions, claims, proceedings, demands, costs, expenses, damages, and other liabilities whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with, in relation to or arising out of the use of the Content.

This article may be used for research, teaching, and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, redistribution, reselling, loan, sub-licensing, systematic supply, or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. Terms & Conditions of access and use can be found at <http://www.tandfonline.com/page/terms-and-conditions>

Objects, pictures and words. Effects of representational format on four-year-olds' quantity knowledge / *Objetos, imágenes y palabras. Efectos del formato representacional en el conocimiento de la cantidad a los cuatro años*

Analía M. Salsa^a and Eduardo Martí^b

^a*Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET);* ^b*Universidad de Barcelona*

(Received 5 November 2013; accepted 6 November 2014)

Abstract: This study explores whether and how different external representations of quantity influence the performance of four-year-old children when constructing sets of a given cardinal number. Three representations of quantity were presented (objects, pictures and number words) in an adaptation of the 'Give-a-number' task, in sets that contained 2–6 items. The results show that the use of pictures facilitated children's performance with quantities of three and four. These results are discussed by analysing the cognitive demands of representational formats, in terms of dual representation and iconicity, and according to the magnitude of the quantities involved.

Keywords: number; cardinal; external representations; dual representation; iconicity

Resumen: Este estudio explora si y cómo diferentes representaciones externas de la cantidad influyen en el desempeño de niños de cuatro años al construir colecciones de un cardinal dado. Se propusieron tres representaciones de la cantidad (objetos, imágenes y palabras numéricas) en una adaptación de la tarea 'Dame un número' con colecciones de dos a seis elementos. Los resultados muestran que el uso de imágenes facilitó el desempeño de los niños con las cantidades tres y cuatro. Estos resultados se discuten analizando las demandas cognitivas de los formatos representacionales, en términos de representación dual e iconicidad, y en función de la magnitud de las cantidades en juego.

Palabras clave: número; cardinal; representaciones externas; representación dual; iconicidad

Acquiring numerical knowledge is a complex process that has been analysed from different perspectives. Piaget's pioneering work showed the importance of

English version: pp. 71–80 / *Versión en español:* pp. 81–90

References / *Referencias:* pp. 90–91

Translated from Spanish / *Traducción del español:* Liza D'Arcy

Authors' Address / *Correspondencia con los autores:* Analía Salsa, IRICE (CONICET), Bv. 27 de Febrero 210 bis, Rosario, Argentina. E-mail: salsa@irice-conicet.gov.ar

conservation in the construction of numbers (Piaget & Szeminska, 1941), which according to the author is learnt at a later stage (specifically the concrete operational stage of cognitive development). However, other studies have indicated that children develop different knowledge of numbers from the start of preschool. Gelman and Gallistel (1978) demonstrated a set of principles that children apply in order to count and understand how many items are in a set. Among these principles, the cardinal principle draws our attention as it enables preschoolers to understand that the last number reached when counting a set of objects represents the numerosity of the whole set.

Other studies analyse how children come to understand the cardinal meanings of number words and how they are able to attribute them to sets of objects or to construct these sets (Levine, Suriyakham, Rowe, Huttenlocher, & Gunderson, 2010; Mix, Sandhofer, & Baroody, 2005). This acquisition occurs slowly and in sequence. The period from when children can produce a set containing one item to producing and identifying all the quantities within their counting range (four and more) is about a year and a half and usually occurs between the ages of two and four (e.g., Condry & Spelke, 2008; Huang, Spelke, & Snedeker, 2010; Sarnecka & Carey, 2008; Sarnecka & Lee, 2009; Wynn, 1990, 1992). Once children show a solid ability to construct sets of four units or more, they are then often able to apply the cardinal principle when they count. Understanding the cardinal principle is a fundamental milestone in numerical knowledge because, from that moment, children can begin to correct the errors they make when they produce sets for a given cardinal, match sets of dissimilar sizes based on their quantity and can understand that if an item is added to a set the cardinality of that set increases by exactly one (Le Corre & Carey, 2007; Le Corre, Van de Walle, Brannon, & Carey, 2006).

However, children are exposed to different external representations of quantity from a very early stage in their lives. The cardinal value of a set is not only represented through oral language and number words; individuals also produce and use gestures (such as using fingers to represent age and the cardinal value of a set), graphic symbols (numerical notations or drawings of sets of objects), and various objects to form sets of the same cardinal value (take as many napkins as there are plates, for example). The external representations of quantity with which children interact in their sociocultural environment facilitate, organize and transform their numerical knowledge (Martí, 2003; Novack, Congdon, Hemani-Lopez, & Goldin-Meadow, 2014; Nunes, 1997; Pérez-Echeverría & Scheuer, 2005; Tolchinsky, 2003). The aim of the study presented here is to explore whether and how different external representations of quantity influence the performance of four-year-old children when constructing sets of different cardinal numbers.

More specifically, this study explores the effects of three representations of quantity: objects (cardboard circles or tokens)¹, pictures (circles drawn on cards) and number words. These representations differ on several dimensions. Tokens and pictures, unlike number words, have a physical permanence (they are not ephemeral) and can be easily manipulated. They are also characterized by their double nature: they are objects with unique physical characteristics and

simultaneously means of representation that refer to something different. To properly use a symbolic object, children must learn to focus their attention on what the symbol is meant to represent rather than its physical properties; they must simultaneously construct and activate mental representations of both dimensions of the symbolic object, which DeLoache (1995) calls ‘dual representation’.

Tokens and pictures also differ from one another. Tokens are three-dimensional objects and are individually manipulable, while pictures are circles drawn on a card (two-dimensional nature) and cannot be manipulated one by one. Several studies that used external spatial representations such as scale models and photographs demonstrated that pictures are easier for young children to understand and use than scale models are (for a review see DeLoache, 2002). Pictures’ physical properties are less attractive to children, thus exploration is activated to a lesser extent, favouring access to dual representation. This hypothesis concerns spatial representations. Does it also apply to representations of quantity? While DeLoache and colleagues (Uttal, O’Doherty, Newland, Liu Hand, & DeLoache, 2009; Uttal, Scudder, & DeLoache, 1997) indicate the importance of considering the three-dimensional or two-dimensional nature of objects used in the teaching-learning number process, this effect of representational format has not been tested empirically.

Another aspect that differentiates tokens, pictures and number words is the way they represent their numerical referents. Tokens and pictures are representations of quantity that could be called iconic because they contain the same number of items the represented set does; however, number words establish an arbitrary relationship to what they represent (a single symbol represents the value of an entire set). Iconic representations can facilitate understanding of quantity by allowing one-to-one correspondences between items and those items in the set being represented. In this sense, different authors (Martí & Garcia-Mila, 2010; Munn, 1998; Sinclair, 1991; Wiese, 2003) indicate that iconic solutions are a common way for young children to represent quantity: when faced with a set of objects, children form a set of objects or graphic marks of equal cardinal value.

There are few studies that address the effects of the use of iconic and arbitrary representations of quantity and those that do, do not provide conclusive data. Bialystok (2000) found no difference between drawings of dots and Arabic numerals when three- to five-year-old children were tested for comprehension of the cardinal value of sets containing up to six items. Nicoladis, Pika, and Marentette (2010) observed a facilitatory effect of number words, compared to iconic representations of quantities using fingers, when four- and five-year-old children were asked to construct and identify sets containing between six and 10 items.

From the above it follows that different representational formats may have a differential impact on children’s performance in quantitative tasks. In the present study, this impact could be related to the way in which external representations of quantity facilitate or hinder access to dual representation (tokens vs pictures) and/or the way they represent quantity (tokens and pictures vs number words).

To explore the relationship between representational format and quantity we use a task that is well-known in the study of young children's cardinal knowledge, the 'Give-a-number' task ('Give-N') (e.g., Condry & Spelke, 2008; Le Corre & Carey, 2007; Sarnecka & Carey, 2008; Wynn, 1990, 1992). In this task, the experimenter presents children with a set of objects (containing 15 or 16 items) and asks them to produce sets of various sizes (usually of up to six) using number words (e.g., 'Give me six candies'). In all these studies, information on number of items is always requested verbally and the possible effects of other ways of representing quantitative information are not explored. In this study, we ask four-year-old children to form sets containing two to six items using information on quantity conveyed using tokens, pictures and number words. While there is a significant individual variability in performance of the 'Give-N' task (see, for example, Sarnecka & Lee, 2009), we decided to work with four-year-old children because before that age children often have difficulty constructing sets that contain more than three items (Huang et al., 2010; Le Corre et al., 2006).

This adaptation of the task also allows us to examine the relationship between representational format and the magnitude of the numerical reference, the latter referring to the relatively 'large' or 'small' size of the sets. Larger quantities are defined as those containing more than three items, stimuli that are difficult to process by sudden, holistic perception (a process called 'subitizing') (Starkey & Cooper, 1995). In fact, children identify and construct sets containing 1–3 items before being able to determine the cardinality of sets that contain four or more items (Le Corre & Carey, 2007; Mix, Sandhofer, Moore, & Russell, 2012; Sarnecka & Carey, 2008; Wynn, 1990). Consequently, the effects of representational format may vary according to the magnitude of the quantities involved. In this sense, iconic representations (tokens and pictures) may facilitate understanding of the quantities 4–6 by enabling children to establish one-to-one correspondences between items.

Method

Participants

In this study 20 children aged between 46 and 51 months ($M = 47.83$ months, nine boys and 11 girls) who attended kindergartens in the city of Rosario (Argentina) participated; their socio-economic level was predominantly middle-class.

Materials

Six yellow, circular cardboard objects were used (diameter: 4 cm; thickness: 0.5 cm), which we call 'tokens'. Six white cards (9×15 cm) with yellow circles (diameter: 2 cm) drawn on them that ranged in number from one to six and had a random arrangement were also used ('pictures'). We also included a collection of 20 yellow rubber toy biscuits (diameter: 6 cm). A plate (diameter: 25 cm) was also used, as well as a puppet (Winnie the Pooh).

Procedure

The children were interviewed individually at the kindergarten they attended. The entire session lasted approximately 15 minutes and began with a few minutes of free play. Once the child was comfortable with the experimenter, they were invited to play with the puppet and toy biscuits. Before administering the ‘Give-N’ task, an orientation phase was carried out.

Orientation phase

The objective of this phase was to focus the child’s attention on the numeric domain and explain the purpose of the task: to place a certain amount of biscuits on a plate using the information that was conveyed through the representational formats. First, the experimenter asked the child if they knew how to count and explained that Winnie the Pooh had not yet learned the numbers. He then put all the biscuits on the table and asked the child to count them out loud to teach the puppet those numbers. If the child did not start counting, the experimenter prompted the child by beginning the count sequence (‘one, two ... ’) while pointing out each biscuit.

After counting, the experimenter placed the empty plate and 16 biscuits on the table and said ‘You are going to help Winnie put the biscuits on the plate. Remember, he does not know how to count yet. If Winnie would like a biscuit for each of his friends, Tigger and Piglet, how many biscuits would we have to put on the plate?’ If the child did not respond or responded incorrectly, the experimenter placed two toy biscuits on the plate.

Finally, a test was performed with the number 1 using the tokens or pictures according to the task order which was randomly assigned to the child. The experimenter explained: ‘You have to put the amount of biscuits on the plate that Winnie asks you to. Winnie is going to show you a number using these tokens (or these circles drawn on the cards)’. The experimenter then placed a token or the picture with one circle in front of the child and said ‘You are going to have to use tokens (or pictures) to know how many biscuits you should put on the plate. If Winnie shows you this token (or picture), how many biscuits are you going to put on the plate?’ If the child did not respond or responded incorrectly, the experimenter placed a cookie.

‘Give-N’

Each child solved the task using the three representational formats, tokens, pictures and number words; the order of their presentation was counterbalanced so that half of the children began the task with tokens and the other half with pictures. Number words were always presented third. For each format, children were proposed successive sets from two to six. Three orders of presentation of the quantities were used; none of these orders were in ascending or descending order. Therefore, the task consisted of three blocks of five trials for each child, one for each representational format.

When starting the task, the experimenter reminded the child how to use the tokens or pictures ('Remember to use the tokens or pictures to know how many biscuits you need to place on the plate'). After each trial, the biscuits on the plate were removed and placed back in the set so that it always contained 16 biscuits throughout the task. When changing the representational format, the experimenter said: 'Now Winnie will show you the number of biscuits you have to place on the plate in another way, using [...] (tokens, pictures or saying a number)'. The instructions used with the number words were: 'Winnie is now going to say a number (the experimenter approached the puppet as if he were whispering something into his ear). If Winnie says four, how many biscuits are you going to place on the plate?' The child's errors were not corrected.

Coding and analysis

A second experimenter observed the experimental session and took note of the children's behaviour in a protocol designed for this study. In each trial, whether the child's response was correct — the child placed the correct quantity of biscuits on the plate — or not was recorded. For incorrect responses, how many biscuits the child placed on the plate was recorded and the response was classified into either 'error by one' (one biscuit more or fewer) or 'error by two or more'. If the child spontaneously used an identifiable strategy to solve the task (e.g., counting), that was also recorded.

Statistical analyses were performed using non-parametric tests because of the asymmetrical distribution of the data and its small size to assume normality.

Results

The results are presented in two sections. In the first part, the results analysing performance in the 'Give-N' task are described according to representational format. In the second part, the performance of each format according to the size of the sets are analysed.

Representational format

Figure 1 shows the frequencies of correct responses in each representational format: if we consider format, children were more successful in using pictures as representations of quantity. The statistical analysis of comparison of frequencies (Friedman test) confirmed a significant effect of format, $\chi^2(2) = 8.66, p = .01$. Pairwise comparisons (Wilcoxon signed-rank test) showed that performance with pictures (68%) was significantly higher than performance with tokens (51%) ($Z = -2.51, p = .01$) and number words (50%) ($Z = -2.22, p = .02$). There was no difference in performance when using tokens and number words ($Z = -0.32, p = .97$). Notably, no performance differences were found by gender or order of presentation of tokens and pictures.

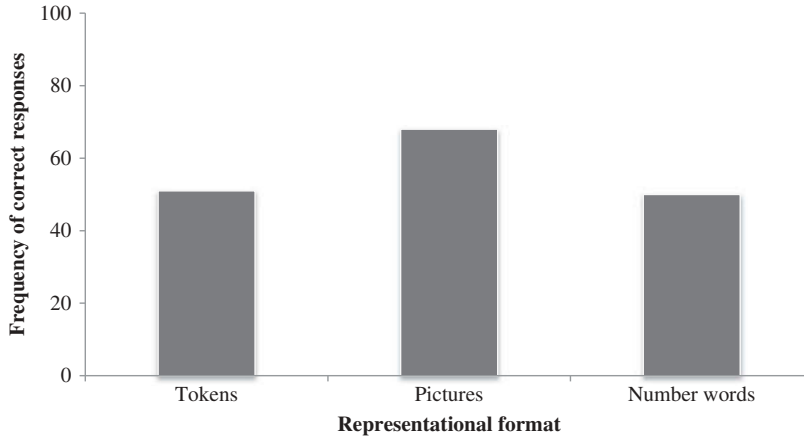


Figure 1. Distribution of frequencies of correct responses according to representational format (maximum score: 100 tests per representational format).

An analysis of incorrect responses yields a similar pattern of results. For this analysis, errors by one were recorded to examine whether different representations of quantity resulted in an approximate, but not exact, response to the requested quantity. On the total errors in each format, errors by one were 41% with tokens, 53% with pictures and 30% with number words; statistically significant differences were found only between the proportions of errors by one with pictures and number words ($Z_{\text{calculated}} = 2.11$, $p = .05$). Therefore, these results showed that children tended to be more successful with pictures; and even when their responses were incorrect, they tended to be more approximate to the cardinal requested with this representational format.

Set sizes

Is this result confirmed for all quantities? Figure 2 shows the number of children who gave a correct response in each quantity and for each representational format. Results from the Cochran test (Q) by comparing the three formats in each quantity (2–6) revealed significant differences only in quantities of three ($Q = 9.80$, $p < .001$) and four ($Q = 6.75$, $p < .05$). For quantities of three, according to post hoc tests (McNemar), performance with pictures was significantly superior to performance with number words ($p = .02$), while no statistically significant differences between performance with pictures and tokens ($p = .06$) or between number words and tokens ($p = .37$) were registered. The contrasts for sets of four reported differences only in favour of pictures over tokens ($p = .03$).

As we noted in the introduction, three corresponded to a small set and four to a large set. As an advantage in the use of pictures both in a small quantity and in a relatively large quantity was registered, it would be interesting to analyse performance within these groups, without distinguishing representational formats, to determine performance based on the size of the set. In small quantities (two and

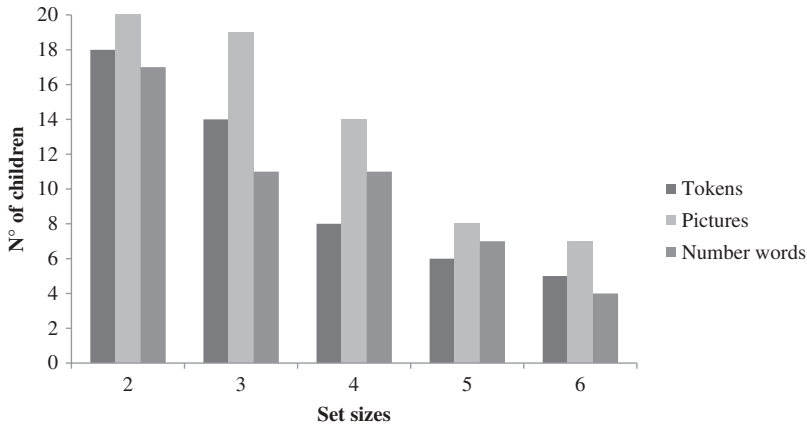


Figure 2. Number of children with correct responses in each representational format according to set sizes.

three), performance with sets of two (92%) was superior to that of sets of three (73%) ($Z = -2.42, p = .01$). With large quantities (four, five and six), significant effects of size were observed ($\chi^2(2) = 12.02, p = .002$) in favour of sets of four (55%) over sets of five (37%) ($Z = -2.25, p = .03$) and six (28%) ($Z = -2.44, p = .01$). Together, these data show that the trials carried out with sets that contained two items were particularly easy for children but difficult with sets that contained five and six items. This result seems to show that four-year-old children are in the process of understanding the cardinal value of three and four collections.

Discussion and conclusions

External representations of quantity are not only objects of knowledge but also tools for problem solving (Martí, 2003). While considering the exploratory nature of this study (due to the small number of children involved and the lack of previous research on the issue), the results show that different ways of representing quantity can affect four-year-old children's performance in the 'Give-N' task. The use of pictures facilitated children's overall performance; even when their responses were incorrect, when using this format they were closer to the cardinal value requested. Within the range of quantities involved, pictures facilitated constructions of sets containing three and four items.

This effect of pictures could be related to the way in which representations denote cardinality. Wiese (2003) argues that the use of iconic representations with one-to-one correspondence is a preliminary and necessary stage towards mastering arbitrary numerical representations, a stage that is clearly documented in studies exploring production of written numerals (Martí & Garcia-Mila, 2010; Munn, 1998; Sinclair, 1991). However, our study found differences between two iconic representations (tokens and pictures); in fact, performance in using tokens and number words was quite

similar throughout the test, and the differences that do exist were found between pictures and the other two formats. On the one hand, it is possible to conclude that one-to-one correspondence (favoured by both iconic representations) was not an effective way to solve the task. On the other hand, it is possible that the nature of the symbolic relation (iconic or arbitrary) may not be as crucial as the function of the representation, that is, the role that representation plays in children's mental activity (Uttal et al., 1997).

From this perspective, the impact of pictures can be interpreted in terms of dual representation: not much more can be done with a picture other than look at it, talk about it or think about its relationship with what it represents (DeLoache, 1995, 2002). If we compare pictures and tokens, the items contained in pictures cannot be manipulated one by one. This characteristic leads Gelman, Chesnick, and Waxman (2005) to argue that pictures have a high representational status as they draw attention to the set and not the individual elements. Consequently, if two-dimensional representations of quantity are simpler for pre-schoolers to understand and use, they could also be more effective learning tools to teach the cardinal value of numbers. Future studies should more systematically explore this possibility.

However, as our results show, the facilitatory effect of pictures, at least for children who are four years old, appear only in quantities of three and four. How can this result be explained?

There is broad consensus that small sets (those containing up to three items) and large sets are processed and distinguished differently, among other things because of the possibility of a subitizing process for quantities in small sets (for a review see Mix, Huttenlocher, & Levine, 2002). However, in our study we found a facilitating effect of pictures in small (three) and large sized sets (four), and no format differences were found in sets containing two, five and six items. It all seems to indicate that the influence of format, contrary to what we had supposed, is not related to the difference between small and large sets but to the value of the cardinal that children are in the process of acquiring. Indeed, four-year-old children in our study have little difficulty in solving trials that use the cardinal two in all formats. They show difficulties managing cardinals five and six, also in all formats. This may mean that the majority of these children are at a stage where cardinals three and four are beginning to be understood and for that reason they are more sensitive to changes in the format of these values. This interpretation would be consistent with the data indicated in other studies and discussed in the introduction, which show that children who are aged between two and four years old will be able to understand, one after the other and gradually, the cardinal values of sets containing 1–4 items (Condry & Spelke, 2008; Huang et al., 2010; Sarnecka & Carey, 2008; Sarnecka & Lee, 2009; Wynn, 1990, 1992).

Further research would be needed to deepen the scope of these exploratory results. For example, four-year-old children could be trained, with pictures, in the construction of sets containing five and six items to then study whether they are able to transfer this learning to solve the 'Give-N' task with number words (which

is the format that is traditionally used in this task). Children who are older than four could also be observed and the quantities involved increased (up to 10 even). Another promising analysis would be to examine the relationships between representational formats, naming or orally counting the quantities presented in pictures and tokens. We are currently working on such studies.

Note

1. For greater accuracy and to retain the term used with children, henceforward the objects will be called 'tokens'.

Objetos, imágenes y palabras. Efectos del formato representacional en el conocimiento de la cantidad a los cuatro años

La adquisición del conocimiento numérico es un proceso complejo y que se ha analizado desde distintas perspectivas. Los trabajos pioneros de Piaget mostraron la importancia del principio de conservación en la construcción del número (Piaget & Szeminska, 1941), que según este autor se elabora tardíamente (en la etapa de las operaciones concretas). Sin embargo, otros trabajos han señalado que los niños van elaborando diferentes conocimientos sobre el número desde el inicio de la etapa preescolar. Gelman y Gallistel (1978) pusieron en evidencia un conjunto de principios que los niños aplican para contar y saber cuántos elementos hay en una colección. Entre estos principios se destaca el principio de cardinalidad, que permite a los niños de edad preescolar comprender que el último término al que llegan cuando cuentan una colección indica la cantidad de toda la colección.

Otras investigaciones analizan de qué manera los niños van entendiendo el significado cardinal de las palabras numéricas y son capaces de atribuirles a las colecciones de objetos, o de construir dichas colecciones (Levine, Suriyakham, Rowe, Huttenlocher, & Gunderson, 2010; Mix, Sandhofer, & Baroody, 2005). Esta adquisición se da lentamente y en orden. Transcurre alrededor de un año y medio desde el momento en que los niños pueden producir una colección de tamaño uno hasta que producen e identifican todas las cantidades dentro de su rango de conteo (cuatro y más), algo que suele ocurrir entre los dos y cuatro años (e.g., Condry & Spelke, 2008; Huang, Spelke, & Snedeker, 2010; Sarnecka & Carey, 2008; Sarnecka & Lee, 2009; Wynn, 1990, 1992). Una vez que los niños muestran una capacidad estable para construir colecciones de cuatro unidades o mayores, suelen ser capaces de aplicar el principio de cardinalidad cuando cuentan. El hecho de comprender el principio de cardinalidad es un hito fundamental en el conocimiento numérico ya que a partir de ese momento los niños pueden corregir sus errores cuando producen colecciones de un cardinal dado, relacionar colecciones de tamaños disímiles basándose en su cantidad y pueden comprender que si adicionan un elemento a una colección su cardinal aumenta exactamente en uno (Le Corre & Carey, 2007; Le Corre, Van de Walle, Brannon, & Carey, 2006).

Ahora bien, desde muy temprano en sus vidas los niños están expuestos a distintas representaciones externas de la cantidad. El valor cardinal de una colección no sólo es representado a través del lenguaje oral, de las palabras numéricas; las personas también producen y usan gestos (por ejemplo, configuración de dedos para representar la edad o el valor cardinal de una

colección), símbolos gráficos (notaciones numéricas o dibujos de colecciones de objetos) y objetos diversos para constituir colecciones del mismo valor cardinal (elegir tantas servilletas como platos, por ejemplo). Las representaciones externas de la cantidad con las que los niños interactúan en su ambiente sociocultural proveen elementos que posibilitan, organizan y transforman su conocimiento numérico (Martí, 2003; Novack, Congdon, Hemani-Lopez, & Goldin-Meadow, 2014; Nunes, 1997; Pérez-Echeverría & Scheuer, 2005; Tolchinsky, 2003). El objetivo del estudio que aquí presentamos es explorar si y cómo diferentes representaciones externas de la cantidad influyen en el desempeño de niños de cuatro años al construir colecciones de un cardinal dado.

Más específicamente, en este estudio exploramos los efectos de tres representaciones de la cantidad: objetos (círculos de cartón o fichas)¹, imágenes (círculos dibujados en tarjetas) y palabras numéricas. Estas representaciones difieren entre sí en varios aspectos. Las fichas y las imágenes, a diferencia de las palabras numéricas, poseen una permanencia física (no son efímeras) y pueden ser fácilmente manipuladas. Asimismo, se caracterizan por su naturaleza doble: son objetos con características físicas propias y simultáneamente medios de representación que remiten a algo diferente. Para utilizar correctamente un objeto simbólico, los niños deben aprender a focalizar su atención en lo que el símbolo se propone representar más que en sus propiedades físicas; deben construir y activar al mismo tiempo las representaciones mentales de ambas dimensiones del objeto simbólico, lo que DeLoache (1995) denominó ‘representación dual’.

Las fichas y las imágenes también se distinguen entre sí. Las fichas son objetos tridimensionales y son manipulables uno a uno, mientras que las imágenes son círculos dibujados en una tarjeta (naturaleza bidimensional) que no se pueden manipular uno a uno. Empleando representaciones externas espaciales, como modelos a escala y fotografías, diversas investigaciones muestran que las imágenes son más fáciles de comprender y usar para los niños pequeños que los modelos a escala (para una revisión ver DeLoache, 2002). Las propiedades físicas de las imágenes serían menos salientes y atractivas para los niños, por lo que despertarían en menor medida esquemas motores para su exploración, favoreciendo el acceso a la representación dual. Dicha hipótesis concierne a las representaciones espaciales. ¿Se aplica también a representaciones de la cantidad? Si bien DeLoache y colaboradores (Uttal, O’Doherty, Newland, Liu Hand, & DeLoache, 2009; Uttal, Scudder, & DeLoache, 1997) señalan la importancia de considerar la naturaleza tridimensional o bidimensional de los objetos que se emplean en la enseñanza-aprendizaje del número, no habría aún evidencia empírica al respecto.

Otro aspecto que diferencia a las fichas, las imágenes y las palabras numéricas es el modo en que representan a sus referentes numéricos. Las fichas y las imágenes son representaciones de la cantidad que podríamos denominar icónicas pues contienen el mismo número de elementos que la colección representada; en cambio, las palabras numéricas establecen una relación arbitraria con lo que representan (un único símbolo representa el valor de toda una colección). Las representaciones icónicas podrían facilitar la comprensión de la cantidad al

permitir que se establezcan correspondencias uno a uno entre sus elementos y los de la colección representada. En este sentido, distintos autores (Martí & Garcia-Mila, 2010; Munn, 1998; Sinclair, 1991; Wiese, 2003) señalan que 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. Los estudios que abordan los efectos del uso de representaciones icónicas y arbitrarias de la cantidad son escasos y no aportan datos concluyentes. Por un lado, Bialystok (2000) encontró que no hay diferencias entre dibujos de puntos y numerales arábigos cuando niños de tres a cinco años debían comprender el valor cardinal de colecciones de hasta seis elementos. Por otro lado, Nicoladis, Pika, y Marentette (2010) observaron un efecto facilitador de las palabras numéricas, en comparación con la representación icónica de cantidades con los dedos, cuando niños de cuatro y cinco años debían constituir e identificar colecciones de entre seis y 10 elementos.

De todo lo expuesto se desprende que distintos formatos representacionales podrían tener un impacto diferencial en el desempeño de los niños en tareas cuantitativas. En el presente estudio, este impacto podría estar relacionado con la forma en que las representaciones externas de la cantidad facilitan u obstaculizan el acceso a la representación dual (fichas vs imágenes) y/o con el modo en que representan la cantidad (fichas e imágenes vs palabras numéricas).

Para explorar las relaciones entre formato representacional y cantidad utilizamos una tarea clásica en el estudio del conocimiento cardinal en niños pequeños, ‘Dame un número’ (e.g., Condry & Spelke, 2008; Le Corre & Carey, 2007; Sarnecka & Carey, 2008; Wynn, 1990, 1992). En esta tarea, el experimentador ofrece a los niños un conjunto de objetos (15 ó 16) y les pide que produzcan colecciones de diversos tamaños (usualmente hasta seis) empleando palabras numéricas (por ejemplo, ‘dame seis caramelos’). En todos estos estudios, la forma en que se solicita la información sobre el número de objetos es siempre de naturaleza verbal y no se exploran posibles efectos de otros modos de representar la información cuantitativa. En el presente estudio, proponemos a niños de cuatro años que construyan colecciones de dos a seis elementos usando la información sobre la cantidad que transmiten las fichas, las imágenes y las palabras numéricas. Si bien existe una variabilidad individual importante en el desempeño en la tarea ‘Dame un número’ (ver, por ejemplo, Sarnecka & Lee, 2009), decidimos trabajar con niños de cuatro años porque antes de esa edad los niños suelen tener dificultades para construir colecciones mayores que tres (Huang et al., 2010; Le Corre et al., 2006).

Esta adaptación de la tarea también nos permitió examinar las relaciones entre formato representacional y magnitud del referente numérico, esto es el tamaño relativamente ‘grande’ o ‘pequeño’ de las colecciones. Cantidades grandes son definidas como aquellas mayores que tres, estímulos que son difíciles de procesar mediante percepción holística y repentina (proceso denominado ‘subitización’) (Starkey & Cooper, 1995). En efecto, los niños identifican y construyen colecciones de uno, dos y tres antes de ser capaces de determinar el cardinal de colecciones de cuatro o mayores (Le Corre & Carey, 2007; Mix, Sandhofer,

Moore, & Russell, 2012; Sarnecka & Carey, 2008; Wynn, 1990). En consecuencia, los efectos del formato representacional podrían ser distintos en función de la magnitud de las cantidades en juego. En este sentido, las representaciones icónicas (fichas e imágenes) podrían facilitar la comprensión de las cantidades cuatro a seis al posibilitar que los niños establezcan correspondencias uno a uno entre sus elementos y los de la colección que han de construir.

Método

Participantes

En este estudio participaron 20 niños de entre 46 y 51 meses ($M = 47.83$ meses, nueve niños y 11 niñas) quienes concurrían a jardines de infantes de la ciudad de Rosario (Argentina); su nivel socioeconómico era predominantemente medio.

Materiales

Se utilizaron seis objetos circulares de cartón amarillo (diámetro: 4 cm; espesor: 0.5 cm), que denominamos 'fichas'. Se emplearon también seis tarjetas blancas (9 x 15 cm) con círculos amarillos dibujados (diámetro: 2 cm) que variaban en número de uno a seis y tenían una disposición irregular ('imágenes'). La colección objetivo estaba compuesta por 20 galletas de juguete de goma amarilla y marrón (diámetro: 6 cm). Se usaron además un plato (diámetro: 25 cm) y un títere (Winnie Pooh).

Procedimiento

Se entrevistó a los niños en forma individual en el jardín de infantes al que concurrían. La sesión completa duraba 15 minutos aproximadamente y comenzaba con algunos minutos de juego libre. Una vez que el niño estaba cómodo con la experimentadora, se le invitaba a jugar con el títere y las galletas de juguete. Antes de la administración de la tarea 'Dame un número' se desarrollaba una fase previa de orientación.

Fase previa

El objetivo de esta fase era centrar la atención del niño en el dominio numérico y explicitar el propósito de la tarea: poner en el plato una cantidad determinada de galletas usando la información que transmitían los formatos representacionales. En primer lugar, la experimentadora preguntaba al niño si sabía contar y explicaba que Winnie Pooh todavía no había aprendido los números. Luego, colocaba todas las galletas sobre la mesa y pedía al niño que las contara en voz alta para enseñar los números al títere. Si el niño no iniciaba el conteo, la experimentadora comenzaba la serie numérica ('uno, dos ...') señalando cada galleta.

Después del conteo, la experimentadora ponía sobre la mesa el plato y 16 galletas diciendo 'Vas a ayudar a Winnie a poner galletas en el plato. Recuerda

que él todavía no sabe contar. Si Winnie quiere poner una galleta para cada uno de sus amigos, Tigger y Puerquito, ¿cuántas galletas hay que poner en el plato?’ Si el niño no respondía o lo hacía incorrectamente, la experimentadora ponía dos galletas de juguete.

Finalmente, se realizaba un ensayo con el número uno usando las fichas o las imágenes según el orden de inicio de la tarea asignado aleatoriamente al niño. La experimentadora explicaba ‘Tienes que poner en el plato el número de galletas que Winnie te pida. Winnie te va a mostrar un número usando estas fichas (o estos círculos dibujados en las tarjetas)’. A continuación, la experimentadora colocaba frente al niño una ficha o la imagen con un círculo y decía ‘Vas a tener que usar las fichas (o las imágenes) para saber cuántas galletas hay que poner en el plato. Si Winnie te muestra esta ficha (o esta imagen), ¿cuántas galletas vas a poner en el plato?’ Si el niño no respondía o lo hacía incorrectamente, la experimentadora ponía una galleta.

‘Dame un número’

Cada niño resolvió la tarea con los tres formatos representacionales, fichas, imágenes y palabras numéricas, contrabalanceándose el orden de su presentación de manera que la mitad de los niños comenzó la tarea con fichas y la otra mitad con imágenes. La modalidad palabras numéricas se administró siempre en tercer lugar. Con cada formato, se propuso a los niños colecciones sucesivas del dos al seis. Se emplearon tres órdenes de presentación de las cantidades, ninguno en progresión ascendente o descendente. Por lo tanto, la tarea estaba formada por tres bloques de cinco ensayos para cada niño, uno para cada formato representacional.

Al comenzar la tarea, la experimentadora recordaba al niño cómo debía usar las fichas o las imágenes (‘Recuerda que tienes que usar las fichas o las imágenes para saber cuántas galletas poner en el plato’). En cada ensayo se retiraban las galletas del plato para que la colección de 16 galletas permaneciera constante a través de la tarea. Al cambiar de formato representacional, la experimentadora decía: ‘Ahora Winnie te va a mostrar el número de galletas que tienes que poner en el plato de otra manera, usando [...] (fichas, imágenes o diciendo un número)’. La consigna con las palabras numéricas era: ‘Winnie ahora va a decir un número (la experimentadora se acercaba al títere como si él susurrara algo a su oído). Si Winnie dice cuatro, ¿cuántas galletas vas a poner en el plato?’ No se corregían los errores del niño.

Codificación y Análisis

Una segunda experimentadora observaba la sesión y tomaba nota del comportamiento del niño en un protocolo diseñado para tal fin. En cada ensayo se registraba si la respuesta del niño era correcta (en este caso el niño colocaba en el plato la cantidad solicitada de galletas) o incorrecta. En las respuestas incorrectas se anotaba cuántas galletas había colocado el niño en el plato y se

clasificaba la respuesta en error de uno (una galleta de menos o de más) o en error de dos o más. Se registraba además si el niño usaba espontáneamente alguna estrategia identificable para resolver la tarea (por ejemplo, conteo).

Los análisis estadísticos se efectuaron empleando pruebas no paramétricas debido a la distribución asimétrica de los datos y su tamaño pequeño para asumir normalidad.

Resultados

Los resultados se presentan en dos apartados. En la primera parte se describen los resultados relativos al análisis del desempeño en la tarea ‘Dame un número’ en función del formato representacional. En la segunda parte se analiza el desempeño en cada formato en función del tamaño de las colecciones en juego.

Formato Representacional

En la [Figura 1](#) se pueden observar las frecuencias de respuestas correctas en cada formato representacional: si atendemos al formato, los niños fueron más exitosos al usar las imágenes como representación de la cantidad. El análisis estadístico de comparación de frecuencias (prueba de Friedman) confirmó un efecto significativo del formato, $\chi^2(2) = 8.66, p = .01$. Las comparaciones de a pares (prueba de los rangos con signo de Wilcoxon) mostraron que el desempeño con imágenes (68%) fue significativamente superior al desempeño con fichas (51%) ($Z = -2.51, p = .01$) y palabras numéricas (50%) ($Z = -2.22, p = .02$). No hubo diferencias en el rendimiento al usar fichas y palabras numéricas ($Z = -0.32, p = .97$). Cabe destacar que no se encontraron diferencias de ejecución por sexo ni por orden de presentación de los formatos fichas e imágenes.

El análisis de las respuestas incorrectas arroja un patrón similar de resultados. Para este análisis se contabilizaron los errores de uno para examinar si las distintas

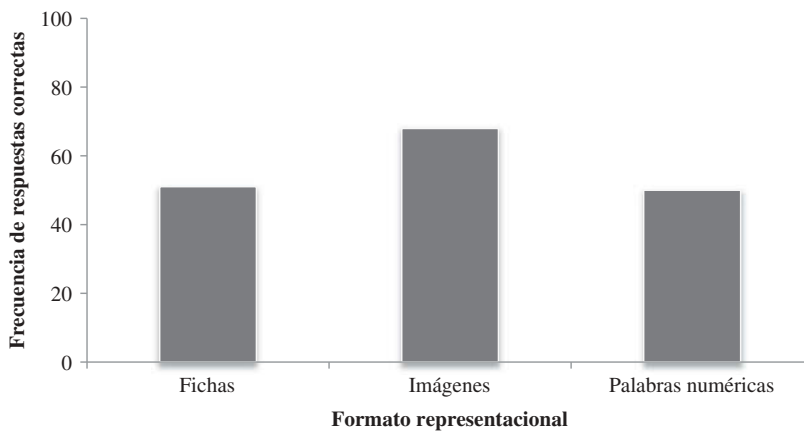


Figura 1. Distribución de frecuencias de respuestas correctas en función del formato representacional (puntuación máxima: 100 ensayos por formato representacional).

representaciones de la cantidad promovían una respuesta aproximada, aunque no exacta, a la cantidad solicitada. Sobre el total de errores en cada formato, los errores de uno fueron 41% con fichas, 53% con imágenes y 30% con palabras numéricas; se hallaron diferencias estadísticamente significativas sólo entre las proporciones de errores de uno con imágenes y palabras numéricas ($Z_{\text{calculado}} = 2.11, p = .05$). Por lo tanto, estos datos muestran que los niños fueron más exitosos con las imágenes y, cuando se equivocaron, sus respuestas con este formato tendieron a ser más aproximadas al cardinal solicitado.

Tamaño de las Colecciones

¿Se confirma este resultado para todas las cantidades? En la **Figura 2** se muestra el número de niños que dieron una respuesta correcta en cada cantidad y en cada formato representacional. Los resultados arrojados por la Prueba de Cochran (Q) al comparar en cada cantidad (dos a seis) los tres formatos fueron significativos solamente en las cantidades tres ($Q = 9.80, p < .001$) y cuatro ($Q = 6.75, p < .05$). Para tres, de acuerdo a los contrastes a posteriori (McNemar), el desempeño con imágenes fue significativamente superior al desempeño con palabras numéricas ($p = .02$), en tanto no se registraron diferencias estadísticamente significativas entre el desempeño con imágenes y fichas ($p = .06$), ni entre palabras numéricas y fichas ($p = .37$). Los contrastes para cuatro informaron diferencias únicamente a favor de las imágenes sobre las fichas ($p = .03$).

Tal y como hemos señalado en la introducción, tres correspondería a una colección pequeña y cuatro a una grande. Al registrarse una ventaja del uso de las imágenes tanto en una cantidad pequeña como en una relativamente grande resulta de interés analizar el desempeño al interior de estos grupos de cantidades sin distinguir formatos representacionales para determinar el rendimiento en función del tamaño de la colección. En las cantidades pequeñas (dos y tres),

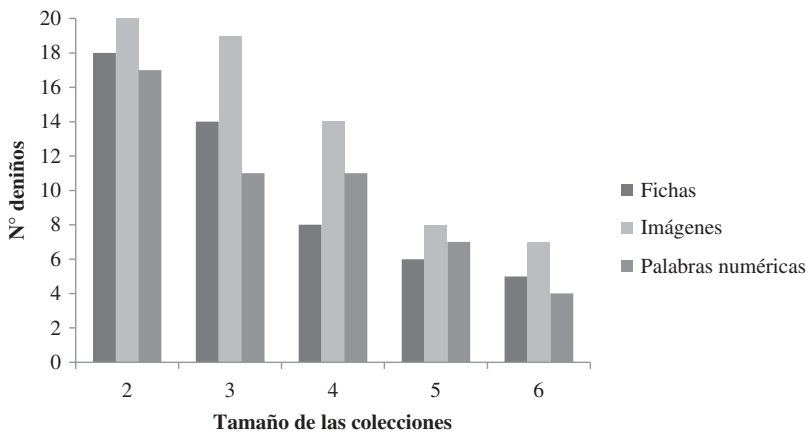


Figura 2. Número de niños con respuestas correctas en cada formato representacional según el tamaño de las colecciones.

Downloaded by [168.96.15.8] at 08:36 13 April 2015

el desempeño con colecciones de dos (92%) fue superior al alcanzado con colecciones de tres (73%) ($Z = -2.42, p = .01$). Con cantidades grandes (cuatro, cinco y seis), se observaron efectos significativos del tamaño ($\chi^2(2) = 12.02, p = .002$) a favor del cuatro (55%) sobre el cinco (37%) ($Z = -2.25, p = .03$) y el seis (28%) ($Z = -2.44, p = .01$). En conjunto, estos datos muestran que para los niños la tarea fue particularmente fácil con colecciones de tamaño dos y difícil con colecciones de cinco y seis. Los colecciones tres y cuatro arrojan unos porcentajes de éxito que permiten pensar que para muchos de los niños que participaron en este estudio estas cantidades están en proceso de adquisición.

Discusión y conclusiones

Las representaciones externas de la cantidad no sólo son objetos de conocimiento sino también medios para resolver problemas (Martí, 2003). Sin dejar de considerar la naturaleza exploratoria del presente estudio (debido al número reducido de niños que participaron y a la ausencia de investigaciones previas sobre la cuestión planteada), los resultados muestran que diferentes modos de representar la cantidad pueden afectar el desempeño de niños de cuatro años en la tarea 'Dame un número'. El uso de imágenes facilitó el rendimiento general de los niños; aun cuando sus respuestas no fueron correctas, con este formato fueron más aproximadas al valor cardinal solicitado. Al interior del rango de cantidades en juego, las imágenes facilitaron la construcción de colecciones de tres y cuatro elementos.

Este efecto de las imágenes podría relacionarse con el modo en que las representaciones denotan la cardinalidad. Wiese (2003) sostiene que el uso de representaciones icónicas con correspondencia uno a uno es una etapa previa y necesaria para el dominio de las representaciones numéricas arbitrarias, etapa documentada claramente en estudios de producción de numerales escritos (Martí & Garcia-Mila, 2010; Munn, 1998; Sinclair, 1991). Sin embargo, en nuestro estudio aparecen diferencias entre las dos representaciones icónicas (fichas e imágenes); en realidad, el rendimiento con fichas y palabras numéricas fue bastante similar durante toda la prueba y las diferencias que aparecen se dan entre las imágenes y los otros dos formatos. Sería posible pensar, por un lado, que el principio de correspondencia uno a uno (favorecido por ambas representaciones icónicas) no ha sido una vía eficaz para la resolución de la tarea. Por otro lado, es posible que la *relación* de representación (icónica o arbitraria) no sea tan determinante como la *función* de la representación, esto es, su papel en la actividad mental de los niños (Uttal et al., 1997).

Desde esta perspectiva es posible postular que el impacto de las imágenes puede interpretarse en términos de representación dual: hay poco que hacer con una imagen más que observarla, hablar sobre ella o pensar en la relación con aquello que representa (DeLoache, 1995, 2002). Si comparamos las imágenes y las fichas, los elementos contenidos en las primeras no pueden manipularse uno a uno. Esta característica lleva a Gelman, Chesnick, y Waxman (2005) a plantear que las imágenes poseen un estatus representacional alto al promover la

focalización de la atención en el conjunto y no en los elementos individuales. En consecuencia, si para los niños en edad preescolar las imágenes son representaciones de la cantidad más sencillas de comprender y usar, también podrían ser herramientas de aprendizaje más eficaces para enseñar el valor cardinal del número. Futuros estudios deberían explorar más sistemáticamente esta posibilidad.

Ahora bien, tal y como muestran nuestros resultados, el efecto facilitador de las imágenes, al menos a los cuatro años, sólo aparece en las cantidades tres y cuatro. ¿Cómo explicar este resultado?

Existe un amplio consenso acerca de que las colecciones pequeñas (hasta tres elementos) y las grandes se procesan y discriminan de distinto modo, entre otras cosas debido a la posibilidad de una apreciación súbita de la cantidad en colecciones pequeñas (para una revisión ver Mix, Huttenlocher, y Levine, 2002). No obstante, en nuestro estudio encontramos un efecto facilitador de las imágenes en colecciones de tamaño pequeño (tres) y grande (cuatro) y no encontramos diferencias del formato en colecciones de dos, cinco y seis elementos. Todo parece indicar que la influencia del formato, contrariamente a lo que habíamos supuesto, no se relaciona con la diferencia entre colecciones pequeñas y grandes sino con el valor de los cardinales que los niños están elaborando. En efecto, los niños de nuestro estudio, de cuatro años de edad, apenas tienen dificultad en resolver la tarea con el cardinal dos en todos los formatos. Y presentan muchas dificultades con los cardinales cinco y seis, también en todos los formatos. Esto puede significar que, en su gran mayoría, estos niños están en una fase en la que los cardinales tres y cuatro están en proceso de comprensión y por ello son más sensibles a los cambios del formato en estos valores. Esta interpretación sería coherente con los datos señalados en otros estudios, y comentados en la introducción, que muestran que entre los dos y cuatro años la mayoría de los niños va siendo capaz de entender, uno tras otros y de manera progresiva, los valores cardinales de colecciones de tamaño uno hasta cuatro (Condry & Spelke, 2008; Huang et al., 2010; Sarnecka & Carey, 2008; Sarnecka & Lee, 2009; Wynn, 1990, 1992).

Nuevas investigaciones serían necesarias para profundizar el alcance de estos resultados de naturaleza exploratoria. Por ejemplo, se podría entrenar a niños de cuatro años con imágenes en la construcción de colecciones de tamaño cinco y seis y examinar si son capaces de transferir este aprendizaje a la resolución de la tarea ‘Dame un número’ con palabras numéricas (que es el formato usado tradicionalmente en esta tarea). También se podría observar a niños mayores de cuatro años y aumentar el valor de las cantidades en juego (por ejemplo hasta 10). Otro análisis prometedor sería indagar las relaciones entre formatos representacionales, nombrando o contando oralmente las cantidades presentadas a los niños en las imágenes y las fichas. En estos estudios nos encontramos trabajando en este momento.

Nota

1. Para mayor precisión y para preservar el término utilizado con los niños, a partir de ahora a los objetos los denominaremos ‘fichas’.

Acknowledgements / Agradecimientos

This work has been made possible thanks to funding given by the Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de Argentina (National Agency of Scientific and Technological Promotion of Argentina) (PICT 2012 No. 1319) and by the Ministry of Science and Innovation in Spain (project EDU2010-21995-C02-02). The authors would like to thank the children and teachers who participated in the research. / *Este trabajo ha sido realizado gracias a la financiación otorgada por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica de Argentina (PICT 2012 N° 1319) y por el Ministerio Español de Ciencia e Innovación (proyecto EDU2010-21995-C02-02). Los autores agradecen a los niños y docentes que participaron en la investigación.*

References / Referencias

- Bialystok, E. (2000). Symbolic representation across domains in preschool children. *Journal of Experimental Child Psychology*, 76, 173–189. doi:10.1006/jecp.1999.2548
- Condry, K. F., & Spelke, E. S. (2008). The development of language and abstract concepts: The case of natural number. *Journal of Experimental Psychology: General*, 137, 22–38. doi:10.1037/0096-3445.137.1.22
- DeLoache, J. S. (1995). Early understanding and use of symbols: The model model. *Current Directions in Psychological Science*, 4, 109–113. doi:10.1111/1467-8721.ep10772408
- DeLoache, J. S. (2002). The symbol-mindedness of young children. In W. Hartup, & R. A. Weinberg (Eds.), *Child psychology in retrospect and prospect: In celebration of the 75th anniversary of the Institute of Child Development* (Vol. 32, pp. 73–101). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Gelman, R., & Gallistel, C. R. (1978). *The child's understanding of number*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Gelman, S. A., Chesnick, R. J., & Waxman, S. R. (2005). Mother-child conversations about pictures and objects: Referring to categories and individuals. *Child Development*, 76, 1129–1143. doi:10.1111/j.1467-8624.2005.00876.x-11
- Huang, Y. T., 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. doi:10.1177/0956797610363552
- Le Corre, M., & Carey, S. (2007). One, two, three, four, nothing more: An investigation of the conceptual sources of the verbal counting principles. *Cognition*, 105, 395–438. doi:10.1016/j.cognition.2006.10.005
- Le Corre, M., Van de Walle, G., Brannon, E. M., & Carey, S. (2006). Re-visiting the competence/performance debate in the acquisition of the counting principles. *Cognitive Psychology*, 52, 130–169. doi:10.1016/j.cogpsych.2005.07.002
- Levine, S. C., Suriyakham, L. W., Rowe, M. L., Huttenlocher, J., & Gunderson, E. A. (2010). What counts in the development of young children's number knowledge? *Developmental Psychology*, 46, 1309–1319. doi:10.1037/a0019671
- Martí, E. (2003). *Representar el mundo externamente*. Madrid: Machado.
- Martí, E., & Garcia-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. doi:10.1174/021093910793154420

- Mix, K. S., Huttenlocher, J., & Levine, S. (2002). *Quantitative development in infancy and early childhood*. Oxford, NY: Oxford University Press.
- Mix, K. S., Sandhofer, C. M., & Baroody, A. J. (2005). Number words and number concepts: The interplay of verbal and nonverbal quantification in early childhood. In R. Kail (Ed.), *Advances in child development and behavior* (pp. 305–346). New York: Academic Press. doi:10.1016/S0065-2407(05)80011-4.
- Mix, K. S., Sandhofer, C. M., Moore, J. A., & Russell, C. (2012). Acquisition of the cardinal word principle: The role of input. *Early Childhood Research Quarterly*, 27, 274–283. doi:10.1016/j.ecresq.2011.10.003
- Munn, P. (1998). Symbolic function in pre-schoolers. In C. Donlan (Ed.), *The development of mathematical skills* (pp. 47–71). East Sussex: Psychology Press.
- Nicoladis, E., Pika, S., & Marentette, P. (2010). Are number gestures easier than number words for preschoolers? *Cognitive Development*, 25, 247–261. doi:10.1016/j.cogdev.2010.04.001
- Novack, M. A., Congdon, E. L., Hemani-Lopez, N., & Goldin-Meadow, S. (2014). From action to abstraction: Using the hands to learn math. *Psychological Science*, 25, 903–910. doi:10.1177/0956797613518351
- Nunes, T. (1997). Systems of signs and mathematical reasoning. In T. Nunes, & P. Bryant (Eds.), *Learning and teaching mathematics: An international perspective* (pp. 29–44). Hove: Psychology Press.
- Pérez-Echeverría, M. P., & Scheuer, N. (2005). Desde el sentido numérico al número con sentido. *Infancia y Aprendizaje*, 28, 393–407. doi:10.1174/021037005774518974
- Piaget, J., & Szeminska, A. (1941). *La genèse du nombre chez l'enfant*. Neuchâtel/Paris: Delachaux et Niestlé.
- Sarnecka, B. W., & Carey, S. (2008). How counting represents number: What children must learn and when they learn it. *Cognition*, 108, 662–674. doi:10.1016/j.cognition.2008.05.007
- Sarnecka, B. W., & Lee, M. D. (2009). Levels of number knowledge during early childhood. *Journal of Experimental Child Psychology*, 103, 325–337. doi:10.1016/j.jecp.2009.02.007
- Sinclair, A. (1991). Children's production and comprehension of written numerical representations. In K. Durkin, & B. Shire (Eds.), *Language in mathematical education* (pp. 59–68). Buckingham, UK: Open University Press.
- Starkey, P., & Cooper, R. G. (1995). The development of subitizing in young children. *British Journal of Developmental Psychology*, 13, 399–420. doi:10.1111/j.2044-835X.1995.tb00688.x
- Tolchinsky, L. (2003). *The cradle of culture and what children know about writing and numbers before being taught*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum.
- Uttal, D. H., O'Doherty, K., Newland, R., Liu Hand, L., & DeLoache, J. (2009). Dual representation and the linking of concrete and symbolic representations. *Child Development Perspectives*, 3, 156–159. doi:10.1111/j.1750-8606.2009.00097.x
- Uttal, D. H., Scudder, K. V., & DeLoache, J. S. (1997). Manipulatives as symbols: A new perspective on the use of concrete objects to teach mathematics. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 18, 37–54. doi:10.1016/S0193-3973(97)90013-7
- Wiese, H. (2003). Iconic and non-iconic stages in number development: The role of language. *Trends in Cognitive Sciences*, 7, 385–390. doi:10.1016/S1364-6613(03)00192-X
- Wynn, K. (1990). Children's understanding of counting. *Cognition*, 36, 155–193. doi:10.1016/0010-0277(90)90003-3
- Wynn, K. (1992). Children's acquisition of the number words and the counting system. *Cognitive Psychology*, 24, 220–251. doi:10.1016/0010-0285(92)90008-P