

Tool selection based on rigidity in young children: a comparative approach (*Selección de herramientas en función de su rigidez con niños preescolares: un enfoque comparativo*)

Héctor M. Manrique, Yurena Hernández-Gálvez, Juan Hernández-Cabrera & Carlos J. Álvarez

To cite this article: Héctor M. Manrique, Yurena Hernández-Gálvez, Juan Hernández-Cabrera & Carlos J. Álvarez (2022) Tool selection based on rigidity in young children: a comparative approach (*Selección de herramientas en función de su rigidez con niños preescolares: un enfoque comparativo*), Journal for the Study of Education and Development, 45:2, 382-412, DOI: [10.1080/02103702.2021.2000128](https://doi.org/10.1080/02103702.2021.2000128)

To link to this article: <https://doi.org/10.1080/02103702.2021.2000128>



Published online: 06 Jan 2022.



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 119




View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)



Tool selection based on rigidity in young children: a comparative approach (*Selección de herramientas en función de su rigidez con niños preescolares: un enfoque comparativo*)

Héctor M. Manrique^a, Yurena Hernández-Gálvez^b, Juan Hernández-Cabrera ^b
and Carlos J. Álvarez^b

^aUniversidad de Zaragoza; ^bUniversidad de La Laguna

ABSTRACT

Fifty-one 23-to-55-month-old-infants faced two apparatuses that required the use of a rigid (box apparatus) or flexible (hose apparatus) stick-like tool to retrieve a toy stuck inside. Before attempting the extraction, however, they had to pick the only one tool (of three) on display that had the appropriate rigidity/flexibility to be effective. To inform their decisions, they could either manipulate the three tools themselves (haptic information) or observe the experimenter bending and unbending them for just five seconds each (visual information) before selection. Children found more difficulties in selecting appropriate flexible tools, as compared to rigid ones. Moreover, infants' own haptic inspection of each tool did not significantly improve their selection accuracy, which indicates that observing the experimenter's demonstration conveyed all the information required to make correct choices.

RESUMEN

Un total de 51 niños de 23 a 55 meses se enfrentaron a dos tareas con aparatos que requerían el uso de una herramienta rígida (tarea con caja) o flexible (tarea con tubo) tipo bastón para recuperar un juguete (objeto-recompensa) de su interior. Antes de tratar de extraer el objeto, se les permitió seleccionar una sola herramienta (de tres disponibles) con la flexibilidad o rigidez apropiada para la tarea. Para informar su decisión, se les permitía o bien manipular las herramientas por sí mismos (información háptica), o bien observar a una experimentadora mientras esta las manipulaba y doblaba durante cinco segundos cada una (información visual) antes de seleccionar una de ellas. Los niños mostraron más dificultades en la selección de las herramientas flexibles que las rígidas. Asimismo, la inspección háptica de las herramientas por parte de los niños no mejoró significativamente la precisión de sus decisiones, lo que indica que observar la demostración de la experimentadora les transmitió toda la información necesaria para optar por la herramienta correcta.

ARTICLE HISTORY

Received 5 December 2020
Accepted 18 April 2021

KEYWORDS

infants; cognition; puzzle
box; rigidity; tool-use

PALABRAS CLAVE

niños preescolares;
cognición; aparato
problema; rigidez; uso de
herramientas

CONTACT Héctor M. Manrique  manrique@unizar.es  Departamento de Psicología y Sociología, Universidad de Zaragoza, Campus Universitario de Teruel, Ciudad Escolar, S/n. 44003 Teruel, España.

English version: pp. 382–396 / Versión en español: pp. 397–411

References / Referencias: pp. 411–412

Translation from English / Traducción del inglés: Mercè Rius

© 2022 Fundacion Infancia y Aprendizaje

Rigidity (and/or flexibility) is an interesting property of objects. Unlike many other features, such as length, diameter or colour, rigidity is not directly accessible, visually. It is not something that we can just see, yet it is ubiquitous and plays a fundamental role whenever we manipulate objects. Rigidity can be felt and/or ascertained through different perceptual modalities: namely, haptically, whenever we feel objects in our hands and try to squeeze or bend them, and visually, when we observe how objects curve or bend because of gravity. Rigid objects are very useful as they can transfer force to other objects. In fact, 10-to-12-month-old children already take advantage of this property to use stick-like objects to rake in toys or other desirable out-of-reach items (Clearfield et al., 2015; Fagard et al., 2014). It is nevertheless doubtful whether at this early age children can grasp the concept of rigidity as an abstract property and are therefore able to dissociate it from other features perceived in the rakes, or even from the rake itself. More plausibly, they have come to learn, through trial and error, how to orientate and manoeuvre the rake as a unity in an appropriate way to bring within reach objects that are out of their reach.

In a series of experiments conducted with the four species of great ape (Manrique et al., 2010) and capuchin monkeys (Manrique et al., 2011), the most adept non-human tool users in nature, it was found that the five species investigated can select unfamiliar stick-like tools based on their rigidity in order to access out-of-reach food rewards. Not only were apes and capuchin monkeys able to discard flexible sticks and pick up the only rigid tool on display in order to rake in morsels of food that were out of reach but, moreover, they were able to shift acquired preferences and select a flexible exemplar whenever the task contingencies were reversed. What this ‘flexibility’ of choices indicates is that they did not rely simply on a capacity to identify the surface features of a tool potentially useful for raking objects in, otherwise they would have failed when the task demanded the use of a flexible probe. The results support a view that adult apes and adult capuchin monkeys can form an abstract concept of rigidity/flexibility which need not depend directly on their immediate physical handling of an object. They may be able to link rigidity/flexibility causally to the specific effects that these objects produce on the environment in addition to the specific task demands. It is noteworthy that all representatives of the ape clade, unlike capuchin monkeys, found greater difficulties in selecting flexible over rigid tools. The success rates in those trials that required them to pick a rigid tool exemplar were 72% and 81% respectively for capuchin monkeys and great apes, whereas success in selecting flexible stick-like objects was 68% and 51% for capuchins and great apes respectively. Because in both studies the first task that was set required the subjects to pick rigid tools, it is conceivable that picking up rigid objects became a prepotent response that needed to be extinguished before they were able to select flexible exemplars. However, this explanation does not seem to hold water because capuchins, unlike great apes, seemed almost impervious to this previous influence. Moreover, great apes facing the first — hence critical — trial with the apparatus tube that required the use of a flexible tool did not exhibit a preference for rigid over flexible tool alternatives. This opens the door to the intriguing alternative explanation that flexibility may be a more cognitively demanding concept to grasp than that of rigidity. In other words, may it be that rigidity and flexibility are not merely both sides of the same coin after all? Counterintuitive as that idea may seem at first sight, when, nevertheless, we think of how often rigid, as opposed

to flexible, objects are part of our daily routines (and those of our non-human primate relatives), it is not so surprising that the concept of rigidity develops faster and sooner than that of flexibility, and that both concepts are to some extent independent. This would fit well with the ideas introduced by Piaget of the sensorimotor experiences being an integral part of the formation of cognitive complex concepts (Piaget, 1952, 1954).

A fascinating observation stemming from the study is that both the apes and capuchin monkeys could judge correctly the rigidity of each tool exemplar displayed by simply observing a human demonstrator bend and unbend it for just five seconds, a remarkable feat that was not foreseen. It appears that the observation of a human demonstrator manipulating the tools conveys all the information required to assess their rigidity correctly. Haptic information gathered through their own manipulation of the tools seems to add little to the knowledge gathered by the subjects about tool rigidity/flexibility. This is puzzling, as it has recently been suggested that haptic information and haptic memory played a fundamental role in tool use and the evolution of tool-making skills in our human lineage (Manrique & Walker, 2017). Köhler's (1925) classical work had already stressed the importance that perceptual factors (mostly visual information) played in chimpanzee problem-solving. This might be related to the adaptive shift that primates made when they adopted a diurnal niche and vision came to play a prominent role. In this same vein, it is perhaps appropriate to mention here that the lunate sulcus in ape endocasts occupies a rostral or more anterior position than in modern human endocasts (Falk, 1980), such that parietal cortical areas involved in sensorimotor integration and object manipulation are relatively smaller in great apes than in humans, and their primary visual cortex in the occipital lobe is relatively larger (Bruner, 2010; Holloway, 2008). The primary visual cortex in humans is located medially in the occipital lobe, whereas in non-human primates it extends around the occipital pole to cover a major part of the lateral occipital lobe (Hecht et al., 2013). This raises an evolutionary matter about whether a changing situation of the lunate sulcus in the brains of monkeys, great apes and modern humans, and different patterns of brain reorganization undergone in those species, could have translated into different gradients of engagement of the haptic system, as opposed to the visual system, in the exploration of objects and identification of their properties, rigidity among them. Returning to the results of the experiments, there were no statistically significant differences in the performance of great apes and capuchin monkeys between the manipulation condition in which they handled the tools before making their choices and the observation condition in which they did not. However, it is intriguing that bonobo and orangutan performances in the observation condition were 10–15% worse than in the manipulation condition, whereas the performances of capuchin monkeys were identical in both conditions. This pattern of results fits well with the theory of putative differences between species in the extent to which they rely on haptic rather than visual information when they inspect objects. However, the 10–15% differences in performance between manipulation and observation conditions provide less than rock-solid support for such an important claim. Moreover, the difference appeared only in orangutans and bonobos, not in chimpanzees. In considering how to interpret the findings, we hope that the results from the study with young children that we attempt here can throw further light. The aim

of the current study is to explore whether infants (23–55 months) can judge the rigidity of unfamiliar stick-like tools and select those appropriate to solving an apparatus problem, and if so, whether they need to inspect the tools haptically in order to make appropriate choices.

Method

Participants

Fifty-one children belonging to the Bosque Encantado kindergarten and the CEIP Chapatal (Infant and Primary School) in Tenerife, Spain, took part in the study after obtaining written consent from both the direction of the centre and their parents. No children diagnosed with neurological, sensory-motor deficits or learning disabilities were included in the sample.

Their ages varied along a continuum from 23 to 55 months, and there were 29 males and 22 females (see Table 1 for a detailed description of the sample). We observed The Code of Ethics of the World Medical Association (Declaration of Helsinki). The school representative as well as the parents were informed of the specifics of the study before they signed their consent, and the personal data collected were treated confidentially. The experimental sessions were made to fit into the psychomotricity schedule of the school and were introduced as play activities to foster children's engagement and minimize any putative neophobic response or distress that the presence of an unfamiliar experimenter might initially provoke.

Table 1. How age and sex were distributed across our sample.

Age (in months)	Frequency
23	1 male
29	1 male
30	1 male
31	1 male
32	1 male, 1 female
34	1 female
35	1 female
36	1 female
37	1 male, 3 females
38	3 males, 1 female
39	1 male, 1 female
40	1 male, 2 females
41	1 male, 1 female
42	3 males, 1 female
44	1 female
45	2 males, 3 females
46	3 males
49	1 male
50	1 female
51	1 male
52	1 male
53	3 males, 1 female
54	3 males, 2 females
55	1 female

Materials

Experiment 1: selecting rigid tools

The apparatus problem employed (see [Figure 1](#)) consisted of a quadrangular wooden box, whose longest side walls measured 30 cm in length and the two shortest opposing walls 20 cm, the box height being 20 cm. The lid of the box presented a 3 cm gap that ran perpendicular to the longest side wall and divided the lid into two equal 13.5 cm halves. Two additional openings 15 cm long and 2.5 cm wide were made at the base of the shortest opposing walls of the box. The superior cut in the lid permitted the introduction of a stick-like tool that if correctly oriented and manoeuvred would laterally sweep the reward placed immediately below it until exiting the apparatus.

To be used in relation to this box, we produced six different three-tool sets that made up a total of 18 stick-like tools differing in colour, diameter, material and, critically, rigidity (see [Figure 2](#) for a detailed description). Each set presented to the subjects was composed of one functional rigid tool exemplar and two flexible probes. Three round wooden sticks, one 30 cm long and the other two 5 cm long, whose diameter was 0.5 cm, completed the set-up, and were used as a pre-test intended to familiarize children with the choice task as well as to train them in the specific motor actions



Figure 1. Apparatus box employed in Experiment 1.



Figure 2. Tool sets used in Experiment 1. Each tool consisted of one suitable tool (panel B) and two unsuitable tools (panels A and C). Set 1: (A) yellow electric wire, 0.4 cm in diameter; (B) blue rigid electric wire, 0.4 cm in diameter; and (C) white electric wire, 0.4 cm in diameter. Set 2: (A) green plastic stick with white foam, 1×0.6 cm; (B) black hollowed plastic stick, 1.5 cm in diameter; and (C) metal chain, 1.4×0.3 cm. Set 3: the three tools consisted of pieces of plastic 4–5 cm long and 0.9 cm in diameter stuck together to form a 20-cm-length tool. While in (A) and (C), a yellow cord held the pieces together; in (B) a rigid yellow metal stick served the same function. Set 4: (A) red leather stick with a black spaghetti flexi around it, 1×0.6 cm; (B) circular wooden stick with white foam, 0.5 cm in diameter; and (C) braid with a yellow electric wire, 0.4 cm in diameter; and two white spaghetti flexi, 0.6 cm in diameter. Set 5: (A) a white spaghetti flexi and another orange one rolled up, 1.2 cm in diameter; (B) white hollowed plastic bar, 1×0.5 cm; and (C) three white spaghetti flexi united with yellow eva rubber, 1.02×0.08 cm. Set 6: (A and C) red leather stick, 1×0.6 cm; (B) red wooden stick, 1.03×0.04 cm.

that were required to extract the toy prize from the apparatus problem. We produced what previous studies termed tricky tools (Manrique et al., 2010), which are tools whose surface appearance cannot give away their true rigidity properties. The advantage of these tools is that success in the selection phase cannot be attributed to having used them beforehand. Therefore, were the children to select appropriate tools, they would demonstrate not only the ability to identify rigidity/flexibility correctly but also to link this property to the requirements of the task.

Experiment 2: control for familiarity

The same apparatus box described above was employed. This time, however, we replaced the tools used previously for three new tool sets composed each of one rigid stick-like tool and two flimsy stick-like probes (Figure 3).

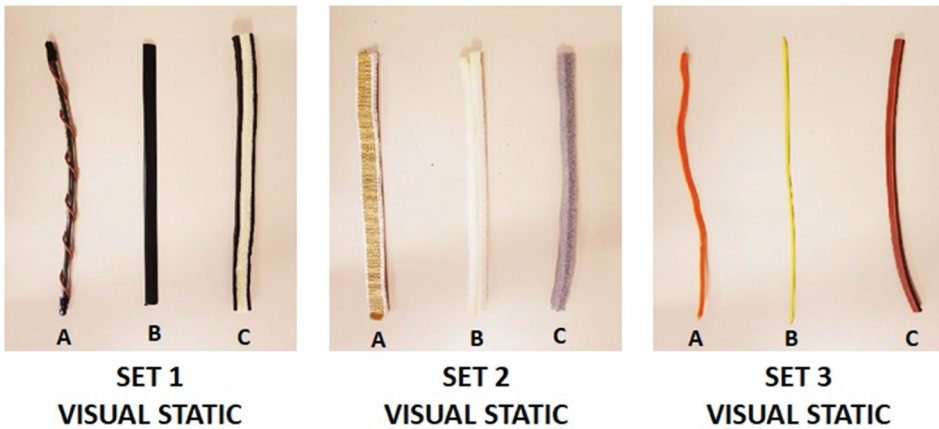


Figure 3. Tool sets used in Experiment 2. Each tool consisted of one suitable tool (panel B) and two unsuitable tools (panels A and C). Set 1: (A) transparent hollowed plastic tube with brown wire around it, 0.08 cm in diameter (inside the transparent tube there was a black spaghetti flexi); (B) black hollowed plastic bar, 1 × 0.5 cm; and (C) white foam stick with black eva rubber, 1.7 × 1 cm. Set 2: (A) cream tape, 2.5 × 1 cm; (B) wooden stick with white foam, 1.5 × 1.5 cm; and (C) grey foam stick, 2 × 1 cm. Set 3: (A) orange spaghetti flexi, 0.6 cm in diameter; (B) yellow rigid electric wire; and (C) brown leather stick, 1 × 0.6 cm.

Experiment 3: selecting flexible tools

We employed a different apparatus that consisted of one transparent hose 37 cm long, 2 cm in diameter (on one side), and 4.5 cm (on the wider extreme, where the object prize was located) and 14 cm long. This hose was bent until it formed a semicircle and was horizontally attached to a wooden board of 50 × 43 cm (Figure 4). We placed a toy car (alternating blue and red across trials) in the wider end of the hose that could be extracted by using flimsy stick-like probes. To be used in relation to this apparatus we produced four new (and hence unfamiliar) three-tool sets. All the tools were 30 cm long and differed in colour, diameter, material and, critically, rigidity. Each set was composed of one flexible stick-like probe and two rigid stick-like tools (Figure 5). Before the actual test started, we ran familiarization trials in which we employed a black hose that measured 30 cm in length and 0.5 cm in diameter.

Design and procedure

Experiment 1

Participants faced the apparatus puzzle box that we have described above (see Figure 1), which was baited with a flat oval plastic toy with a happy face painted on one side and which came in four colours: blue, green, red or yellow, which alternated across trials. The first thing we did was to get the infants practising the motoric actions required to extract the toy. Here we wished the children to exercise the specific motor actions required to operate the baited apparatus before they familiarized themselves with the selection routine and/or even entered the actual rigidity test. The experimenter introduced the toy in the box and took a 30 cm round wooden stick that she used to dexterously sweep the object laterally until it exited the box through one of the lateral

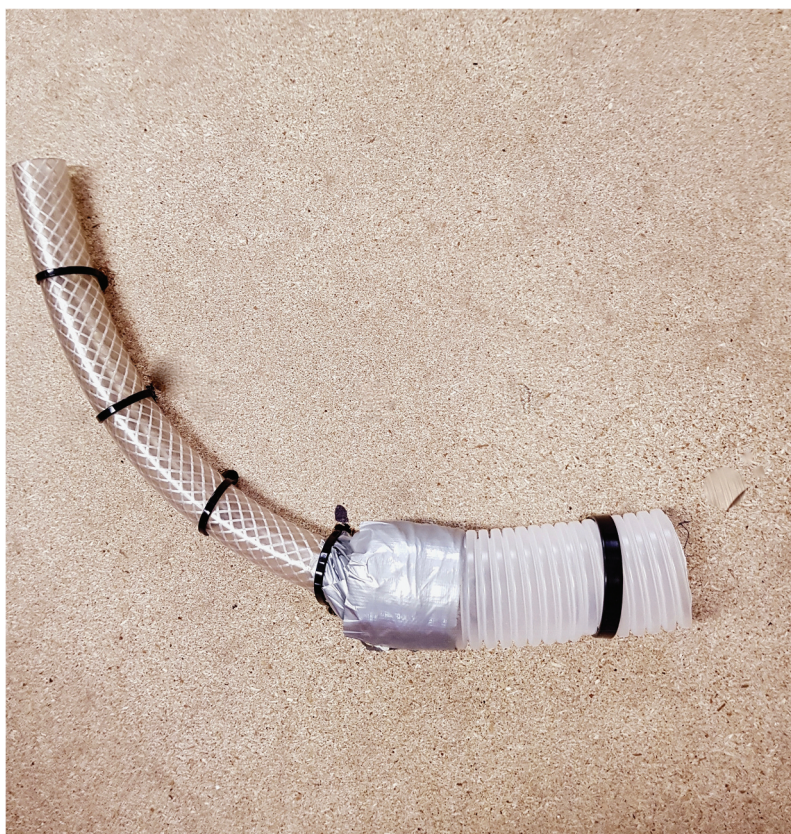


Figure 4. Apparatus hose employed in Experiment 3.

openings. While performing these actions, the experimenter asked the participants to watch carefully. After the object was extracted, the experimenter enthusiastically exclaimed: 'Look, we have got it! It is out!' Then she asked the infant to introduce the object into the apparatus again and try by herself. If in one minute's time the child had failed to extract the toy, the experimenter assisted her by taking her hand and gently guiding the movements. This training phase was over when the child had managed to extract the toy five consecutive times without the experimenter's guidance. Then we advanced to the pre-test phase, in which the participants were required to select the only tool (30 cm long) on the floor that was long enough to be effective, the other two tools in the display being 5 cm long and hence too short. The three tools were placed directly on the floor, in front of the apparatus, and parallel to each other (10 cm apart). This pre-test, consisting of two consecutive trials, sought to familiarize participants with the selection routine. Finally, the actual *rigidity* test started by presenting three stick-like tools on the floor (one rigid and hence functional and two inappropriately flimsy probes) from which the children had to select the one they wanted to use to retrieve the toy. A total of 12 trials (two trials per set) were administered to each child on separate days, distributed in six trials per day. When first confronted with each set, the children could gather information regarding the tools' properties through (1) their

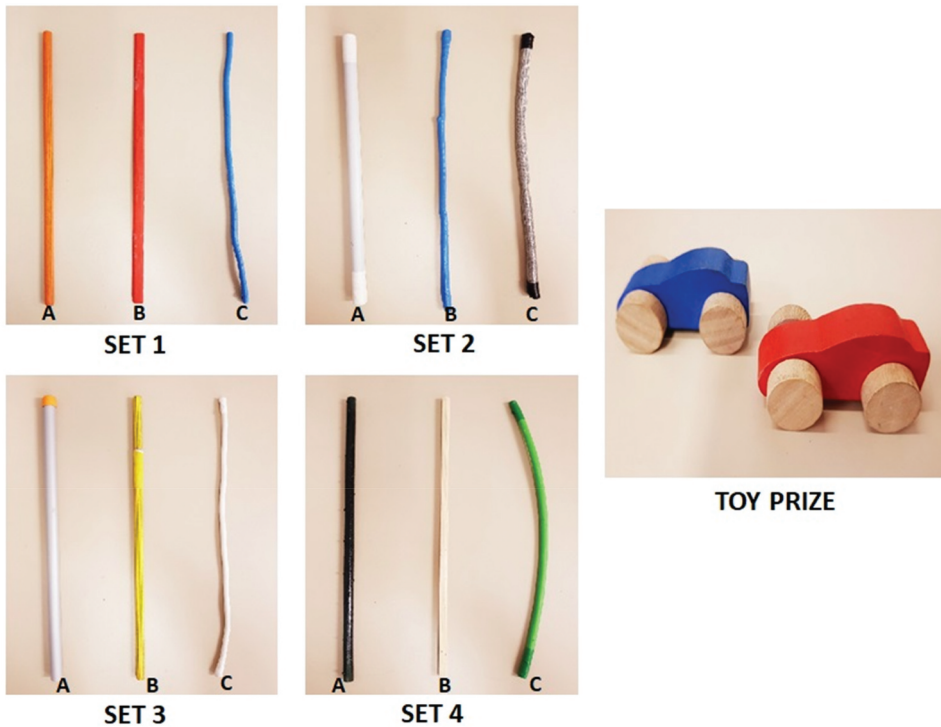


Figure 5. Tool sets used in Experiment 3. Each tool consisted of one suitable tool (panel C) and two unsuitable tools (panels A and B). Set 1: (A) orange circular wooden stick, 1 cm in diameter; (B) red wooden stick, 1.03×0.04 cm; and (C) blue electric wire, 0.8 cm in diameter. Set 2: (A) white hollowed plastic tube, 1.5 cm in diameter; (B) blue circular wooden stick, 1 cm in diameter; and (C) shower tube, 1.2 cm in diameter. Set 3: (A) grey hollowed plastic tube, 1.5 cm in diameter; (B) yellow circular wooden stick, 1 cm in diameter; and (C) white electric wire, 0.8 cm in diameter. Set 4: (A) dark green circular wooden stick, 1 cm in diameter; (B) square wooden stick, 1×1 cm; and (C) green electric wire, 1 cm in diameter.

own manipulation of each of the tools (manipulation condition) in absence of the apparatus or (2) by observing the experimenter bending and unbending each of the tools for five seconds (observation condition). The condition (manipulation vs observation) was counterbalanced across sessions and subjects, meaning that if in the first testing session one child received six trials corresponding to sets 1, 2 and 3 in the manipulation condition, the next day she would receive the other six trials with sets 5, 6 and 7 in the observation condition. Therefore, half of the participants would receive the manipulation condition first, and the other half would receive it second. Once the tools had either been handled or observed being handled, depending on the condition, the experimenter recovered them and placed them parallel to each other separated by 10 cm in their pre-assigned locations on the floor. She then averted her gaze to avoid involuntarily cueing the child and asked her to pick the one tool that she wanted to use to extract the toy. When the selected tool was retrieved from the tray, the child would have three minutes to extract the toy prize from the apparatus box. The two testing sessions were run on separate days and always started with the two familiarization trials

we reported above in which children were offered three round wooden sticks: two of them 5 cm long and thus too short to be effective and one of 30 cm, and hence functional. Throughout the whole testing session, the experimenter and the child would sit on the floor opposite each other, leaving the apparatus to lie between them.

Experiment 2

This was implemented after Experiment 1 was over and reproduced the exact same procedure of Experiment 1 except that the five consecutive trials that were intended to train the motoric patterns used in the extractive task were omitted (the children had already practised them in Experiment 1) and the testing took place in a single session. Also, three new tool sets composed of one rigid and two pliable tools were introduced that made for a total of six selection trials. Experiment 2 also differed from Experiment 1 in a third critical aspect: no information was provided as to the rigidity properties of the tools before selection. After the two consecutive pre-test (familiarization) trials with the round sticks differing in length were carried out, the experimenter asked the child to turn around and wait for further instructions. While the child was looking the other way, the experimenter placed each tool of the set in its pre-assigned position on the floor. Upon being allowed to face the tools and the apparatus again, the child would be asked to pick the one tool she wanted to use to extract the toy. Note that the unfamiliar tools were now presented lying statically on the floor and therefore would not 'presumably' give away any information regarding their rigidity. This experiment was intended as a control for familiarity. If the children failed to select the appropriate tool in this non-informative condition, it would mean that success in Experiment 1 and/or Experiment 3 to follow was based on the capacity to judge tool rigidity in relation to the task requirements, and not because of previous experience with the specific tools and/or the materials employed in the study.

Experiment 3

Here, the same procedure as in Experiment 1 was used, except that subjects had to select the only flexible stick-like tool lying on the floor, which could bend round the hose apparatus' bends and reach the car locked inside. Another difference to Experiment 1 is that four sets of tools were used instead of six, and each set was composed of one flexible and two rigid stick-like tools, all measuring 40 cm in length (for a detailed description, see [Figure 5](#)). The information condition (manipulation vs observation) that preceded tool selection was counterbalanced across subjects and sessions. Because we only had four different tool sets, we increased the number of trials that we ran with each set from two to three, until matching the six trials per condition of Experiment 1. Each rigidity test trial started with the experimenter introducing a toy car (alternating in colour from red to blue from one trial to the next) into the hose, followed by the demonstration of the tool properties (manipulation or observation) and the selection by the participant of the one tool from the floor that she wanted to use to extract the car. Once a tool was picked up from the floor, the child would have three minutes to extract the car.

At the beginning of the first session and before we started with the actual rigidity test, we had the participants practising the motoric actions involved in the extractive task. To accomplish this, the experimenter introduced a toy car in the apparatus hose

and showed the participants how to introduce a black pliable hose 1 cm in diameter into the apparatus hose to dislodge it. After this demonstration, the participants had to extract the car themselves five consecutive times before progressing to the actual rigidity test. In Experiment 3, we omitted the two pre-test trials in which participants had to select the longest tool in the tray before progressing to the actual rigidity test, because at this stage of the study participants had had ample experience with the selection routine.

Although the three different experiments included in this study have been described separately, in the sections to follow they will be analysed and discussed together, as they were conceived as a conceptual unity. The focus will therefore be placed on the different factors investigated and how they relate to each other, rather than on the specific experiment itself. We will consider the effect that the factors Apparatus (box vs hose), Condition (manipulation vs observation vs static visual information) and Age (in months) exert on Success (number of trials in which the appropriate tool is selected and used to retrieve the reward from the apparatus).

Results

The descriptive statistics depicting the percentage of success for the different apparatuses and conditions can be found in Table 2. The number of successful trials (from now on, *hits*), as defined as the appropriate tool being selected and used to retrieve the toy from the apparatus, were analysed using Poisson linear mixed effects modelling (Baayen et al., 2008; Bates, 2005). The analyses were performed using the R statistics software with the lme4 package (Bates & Maechler, 2009).

In the first model, the Apparatus factor (box vs. hose) was entered as a within-group factor (removing the visual static condition, which was used only for the box). The covariate Age (centred around the grand mean) was also included in the model.

A fitted mixed-design analysis of variance was used. The model was estimated following Barr et al., (2013) with the within-participant factor as fixed and random slopes across participants. Results revealed a significant main effect of the Apparatus, with advantage for the number of hits (successful choices) for the box on the hose, $\chi^2(1) = 13.80$, $p < .001$. The covariate age was also significant, $\chi^2(1) = 4.45$, $p < .05$. The interaction did not show significance.

In a second Poisson mixed model (with the same characteristics of the previous one), the three task conditions (manipulation, observation and static visual information) were entered only for the box task. Again, age entered in the model as covariate. Results showed only one effect of the task, $\chi^2(1) = 24.48$, $p < .001$. According to the post-hoc comparisons (Hochberg method), there were reliable differences between manipulation and static visual information, $z = 3.51$, $p < .001$, and between observation and static

Table 2. Mean percentage of success as a function of task condition and apparatus.

		Apparatus	
		Apparatus box	Apparatus hose
Task condition (source of information provided)	Own manipulation	62.75	47.38
	Observation of a demonstrator	60.13	44.77
	Visual static	35.95	No information

visual information, $p < .001$, but not between manipulation and observation. The covariate age and the interaction were not significant.

In a third model, the hose alone was analysed, together with age as a covariate. The difference between manipulation and observation was not significant. The covariate age, however, was reliable, $\chi^2(1) = 5.97$, $p < .01$.

In a new mixed model analysis, the hose alone was again analysed. In this model, the factor task condition (manipulation-observation) was not included because it had not yielded significance in the previous model. Then the serial position of the trial (first, second ... sixth) was introduced in the model, together with age as a covariate. As expected, age was again significant, $\chi^2(1) = 10.68$, $p < .001$. But more importantly, the trial also reached significance, $\chi^2(1) = 33.50$, $p < .001$. Post hoc comparisons (with the Hochberg adjustment) showed a significant difference between the first and the last trials, $p < .001$: there were significantly more hits in the last trials than in the first ones.

Discussion

Young children's performance in the current study closely resembled that previously reported in great apes and capuchin monkeys (Manrique et al., 2010, 2011). Human children, like the other primates, used the information provided by their own haptic exploration of the tools, or the demonstration by the model, to ascertain tool rigidity. No differences for success between the manipulation and observation conditions were found. In other words, children did not need to touch the tools themselves to make correct choices, and merely observing an adult demonstrator bending and unbending them for just five seconds sufficed. Moreover, the static visual condition offered no reliable information to make appropriate choices, which rules out the possibility that participants selected the tools in the other task conditions (manipulation and observation) because they had previous experience with those specific tools/materials and already knew that they were effective. This was a crucial control, as in human children, unlike what happened with great apes and capuchins, there was no record of the materials they had experienced before the study.

The apparatus box proved easier to solve than the apparatus hose, which again reproduces the pattern of results previously described both for great apes and capuchin monkeys. The fact that the rate of success in the sixth trial of the hose task is significantly higher than that of the first trial seems to argue against differences at the conceptual level between understanding rigidity and flexibility. Instead, it is as though children had to extinguish the prepotent response of selecting rigid tools before changing to pick up flexible exemplars. Note that our participants always faced the apparatus hose after they had solved the apparatus box, in which selecting and using a rigid tool exemplar had been repeatedly reinforced. It was to be expected that infants had developed a preference towards rigid objects that they had to overcome before shifting preferences. Also, it is conceivable that the reinforcing effect of the toy prize was strengthened further by the verbal praise they received from the experimenter upon extraction (for a comprehensive review, see Marcovitch & Zelazo, 2009). Notwithstanding the fact that the differences in performance between apparatuses is linked to previous experience, it is worth mentioning that the differences were more acute in great apes and humans, as compared to capuchin monkeys. In other words, the

hindering effects of previous experience were more rapidly overcome by capuchin monkeys than by apes.

There was a considerable number of older children (close to four) that performed below chance level and a few younger children (circa three) who, on the other hand, succeeded. This prevented us from witnessing a steady increase in performance as a function of chronological age. Because the size of our sample was modest and performance so erratic, it was impossible to statistically draw a specific chronological age in which children solve the box or the hose apparatuses above chance level. This uncharacteristic pattern of results could perhaps be attributed to a lack of motivation on the part of older participants. Given the wide distribution of ages in our sample, it is difficult to produce a reward that is equally motivating to all the children involved.

Overall, both great apes (average success of the four species) and capuchin monkeys performed significantly better than human children in the box and hose apparatuses for all conditions explored (see Manrique et al., 2010, 2011, and Table 2). It is true that our sample of humans was composed of young children alone, whereas the capuchin monkeys and great apes tested were mostly adults. These results are in line with previous research in which children below 18 months still found it difficult to pull a rake to bring into reach a desired object if the object and the rake were not in direct contact. Moreover, 22-month-old children only succeeded in retrieving the toy object by using the rake in a modest 22% of the trials when a wide gap separated the toy and the rake (Rat-Fischer et al., 2012).

We also wonder whether having the experimenter averting her gaze when children were to select a tool might have disconcerted them. Children — as opposed to non-human primates — actively try to engage in eye contact with adults, especially if they seek confirmation or reassurance.

The most interesting result of the current study is perhaps the fact that manual inspection of the tools was not required to select appropriate tool objects. It is intriguing that rigidity/flexibility, which is a property that is mostly felt, rather than observed, is, however, ascertained without the need to gather haptic information. This reproduces almost exactly what has been reported for great apes and capuchin monkeys in previous studies (Manrique et al., 2010, 2011). A study by Klatzky et al. (2005) investigated whether four-year-old children would be able to correctly judge the appropriateness of a spoon to transport a piece of candy and the functionality of a stick to stir a target substance. In the latter example, rigidity was the critical feature connected to efficiency. They also investigated which sources of information (visual vs haptic) they would favour to inform their decisions. They found that children engaged in haptic exploration of the stirring tool, yet they explored the transporting spoon mostly by watching. These results are in apparent contradiction with our own, yet in the study by Klatzky et al. (2005), there was no adult demonstrator who bent and bent the tools for the benefit of the children, and hence, they were forced to explore the tool exemplars by touch. The fact that touch plays a role in determining whether an object is rigid and cannot be replaced by any other perceptual modality is undeniable. However, the sight of an object bending when we apply force to it is always coupled with the feel of the object being smooth or yielding, and that explains why sight alone sufficed for appropriate choices to be made.

A study by Gardiner et al. (2012) explored the solving abilities of two- and three-year-olds when confronted with up to six different puzzle apparatuses. They were asked to select appropriate tools to match task requirements. The degree of difficulty of the task as well as the type of information provided were manipulated by the experimenter. When children observed the experimenter perform the necessary actions directed at retrieving a toy from the puzzle apparatus with a specific tool, their tool selection proved to be more accurate than when they were allowed to manipulate the tools and apparatuses but were denied the demonstration. When haptic and observational information of the tools and apparatuses were combined before having to choose a tool, the former source of information added little to the selection accuracy. Interestingly, when they were offered the demonstration by the model and later allowed to haptically inspect the tools, they performed better than when these two conditions were administered in reverse order. This suggests that infants who first familiarized themselves with the requirements of the task inspected the tools in search of specific affordances that would match the task requirements. Perhaps what Gardiner et al. (2012) and our current study indicate is that when it comes to tool use, children rely more in the demonstration provided by adults and less on their own inspection. This idea finds support in imitation studies in which human children's tool use is deeply influenced by social rather than technical aspects (Nielsen & Blank, 2011; Over & Carpenter, 2012).

An alternative explanation for the prominent role that visual information gathering may play to select appropriate tools in the current and previous studies is that infants' manual inspection is less thorough and accurate than that of adults. This explanation finds empirical support in a study by Kalagher and Jones (2011) in which children two to five years of age and adults explored unfamiliar objects either haptically or visually and then had to choose a visual match from among three test objects. They reported that children below five failed to systematically inspect objects that they had not previously been able to see and therefore their matches were less accurate. Perhaps when allowed to manipulate the tools, the infants in our study failed to apply the appropriate manual critical test operations to the tools (bend and unbend) which would have gained them the maximum amount of relevant information to inform their decisions. In other words, perhaps haptic information added little to the selection accuracy of our children because of a lack of proficiency in the manual inspection of the tools.

To finalize our discussion, we would like to summarize the main findings of the current study as well as its limitations. Even though we failed to establish a specific chronological age in which infants grasp the abstract concept of rigidity/flexibility, we succeeded in demonstrating that observation of a model bending and unbending the tool objects suffices to make correct choices. The other valuable information to be extracted from the children's modest (if not poor) performance is the proficiency that both great apes and capuchin monkeys exhibited in previous studies when facing analogous problems, their worst performance always being above 60% success. The main limitation of our study is perhaps that the wide distribution of ages translated into few subjects being assigned to each age cluster, which prevented us from detecting developmental transitions in the judging of rigidity/flexibility. Also, it might be worth investigating how/whether language development facilitates performance, as it is widely

accepted that language is key for self-regulation from a very early age (Vallotton & Ayoub, 2010).

Conclusions

Human infants, as compared to great apes and capuchin monkeys tested in previous studies, had greater difficulties in selecting and using appropriate rigid or flimsy stick-like objects to extract a prize toy from a puzzle box. Infants' visual inspection of the tools while being bent and unbent by a human demonstrator conveyed all the information required to make appropriate choices. In other words, haptic own inspection of the tools offered no significant advantage to succeeding in the task, despite rigidity and flexibility being properties that are mostly felt rather than observed.

Selección de herramientas en función de su rigidez con niños preescolares: un enfoque comparativo

La rigidez (y/o flexibilidad) de los objetos es una propiedad interesante. A diferencia de otras características como la longitud, el diámetro o el color, la rigidez no es directamente accesible a través de la vista. No se percibe a simple vista y, sin embargo, es omnipresente y desempeña un papel fundamental siempre que manipulamos objetos. La rigidez se puede sentir y/o comprobar mediante diversas modalidades perceptivas, es decir, de manera háptica, cada vez que manipulamos objetos con las manos y tratamos de apretarlos o doblarlos y visualmente, cuando observamos cómo se doblan o curvan los objetos debido a la gravedad. Los objetos rígidos son muy útiles porque pueden transmitir fuerza a otros objetos. De hecho, los niños de entre 10 y 12 meses ya hacen uso de esta propiedad al utilizar palos u objetos similares para alcanzar juguetes u otros objetos que están fuera de su alcance (Clearfield et al., 2015; Fagard et al., 2014). No obstante, no está claro que, a esta edad temprana los niños comprendan el concepto de rigidez como una propiedad abstracta y, por tanto, sean capaces de diferenciarlo de otros aspectos perceptivos asociados a un palo o un rastrillo, o incluso al propio concepto de rastrillo. Es más probable que, mediante ensayo y error, hayan aprendido a orientar y maniobrar el rastrillo como una totalidad para acercar objetos que quedan fuera de su alcance. En una serie de experimentos realizados con las cuatro especies de grandes simios (Manrique et al., 2010) y con monos capuchinos (Manrique et al., 2011), los animales más hábiles en el uso de herramientas aparte de los humanos, se observó que las cinco especies investigadas eran capaces de seleccionar herramientas desconocidas similares a un palo o bastón basándose en su rigidez, para alcanzar golosinas comestibles que se habían colocado fuera de su alcance. No solo eran capaces de descartar los bastones flexibles y seleccionar únicamente las herramientas rígidas para acercar los bocados de comida que quedaban lejos de ellos sino que, además, eran capaces de modificar los hábitos adquiridos y seleccionar un bastón flexible cuando se alteraban las circunstancias de la tarea. Esta ‘flexibilidad’ de opción indica que estos simios no dependían únicamente de su capacidad de identificar las características superficiales de una herramienta potencialmente útil para acercar objetos hacia sí. De otro modo no hubiesen acertado con la herramienta correcta cuando la tarea requería el uso de una herramienta flexible. Los resultados corroboran la hipótesis de que los grandes simios y los monos capuchinos adultos son capaces de formarse un concepto abstracto de la rigidez/flexibilidad que no depende directamente de la manipulación inmediata de un objeto. Es posible que sean capaces de vincular causalmente la rigidez o la flexibilidad de los objetos con los efectos específicos que estos ejercen sobre el entorno, y con las exigencias específicas de la tarea. Es importante mencionar que todos los representantes del lado de los simios, a diferencia de los monos capuchinos, tuvieron más dificultades en seleccionar las herramientas flexibles que las rígidas. El

índice de éxito (rendimiento) en las tareas que requería el uso de una herramienta rígida fue de 72% para los monos capuchinos y 81% para los grandes simios, mientras que en el caso de la herramienta flexible fue de 68% y 51% respectivamente. Dado que en ambos estudios, la primera tarea requería que los sujetos seleccionasen una herramienta rígida, es posible que la selección de una herramienta rígida fuese la respuesta predominante que tenían que suprimir para ser capaces de seleccionar las herramientas flexibles. Sin embargo, esta explicación no se sostiene porque los capuchinos, a diferencia de los grandes simios, parecían prácticamente inmunes a esta influencia previa. Además, cuando los grandes simios se enfrentaron a la primera tarea — y por tanto crítica — en la que se requería el uso de una herramienta flexible, no mostraron preferencia especial por una herramienta rígida en detrimento de una alternativa flexible. Esto permite aventurar una explicación alternativa; que la flexibilidad sea un concepto cognitivamente más exigente que la rigidez. Dicho de otro modo, ¿es posible que, en realidad, la rigidez y la flexibilidad no sean las dos caras de una misma moneda? Por ilógico o contradictorio que parezca, si reflexionamos sobre la cotidianeidad de los objetos rígidos en nuestras actividades diarias (y las de nuestros parientes primates) a diferencia de los objetos flexibles, no es tan extraño que el concepto de rigidez se desarrolle con mayor rapidez y facilidad que el de flexibilidad, y que ambos conceptos sean en cierta manera independientes. Este planteamiento es coherente con las ideas introducidas por Piaget sobre las experiencias sensoriomotoras como parte integral de la formación de conceptos cognitivamente complejos (Piaget, 1952, 1954).

Una fascinante observación que surgió de este estudio es que tanto los simios como los capuchinos eran capaces de juzgar correctamente la rigidez de cada herramienta mostrada, simplemente observando cómo un experimentador humano la manipulaba y doblaba durante apenas cinco segundos, un logro tan notable como inesperado. Al parecer, observar la demostración de un humano manipulando la herramienta les transmitió toda la información que los primates necesitaban para evaluar su rigidez correctamente. La información háptica recabada mediante su propia manipulación de la herramienta parecía añadir muy poco a los conocimientos ya adquiridos sobre la rigidez/flexibilidad de la herramienta. Es un resultado desconcertante, puesto que recientemente se ha sugerido que la información y la memoria hápticas desempeñan un papel fundamental en el uso de herramientas y en el desarrollo de las habilidades de elaboración de herramientas en nuestra especie humana (Manrique & Walker, 2017). En su obra clásica, Köhler (1925) ya puso de relieve el papel clave de los factores perceptivos (principalmente de la información visual) en la resolución de problemas por parte de los chimpancés. Este aspecto podría estar relacionado con el cambio adaptativo que sufrieron los primates al adoptar un nicho diurno y la visión pasó a desempeñar un papel destacado. En esta misma línea, cabe mencionar que el surco lunar en las endocastas de los simios ocupa una posición rostral más anterior que en los humanos modernos (Falk, 1980), de modo que las áreas corticales parietales implicadas en la integración sensoriomotora y en la manipulación de objetos son relativamente más pequeñas en los grandes simios que en los humanos, y su corteza visual primaria en el lóbulo occipital es relativamente grande (Bruner, 2010; Holloway, 2008). La corteza visual primaria de los humanos está situada en la cara medial del lóbulo occipital, mientras que en los primates no humanos se extiende hacia el polo occipital y cubre una gran parte del lóbulo occipital lateral (Hecht et al., 2013). Esto plantea una cuestión

evolutiva sobre si el cambio de ubicación del surco lunar en el cerebro de los monos, los grandes simios y los humanos modernos y los distintos patrones en la reorganización cerebral de estas especies podrían haberse traducido en los distintos grados de participación del sistema háptico, a diferencia del sistema visual, en la exploración de objetos y la identificación de sus propiedades, como la flexibilidad. Volviendo a los resultados de esos experimentos, no se observaron diferencias significativas en el rendimiento de los grandes simios y de los monos capuchinos entre la condición de manipulación, en la que manipulaban las herramientas antes de optar por una de ellas, y la condición de observación, en la que no había una manipulación previa. No obstante, resulta de interés que el rendimiento del bonobo y del orangután en la condición de observación era entre un 10% y un 15% peor que en la condición de manipulación, mientras que el rendimiento de los capuchinos era idéntico en ambas condiciones. Este patrón de resultados encaja bien con la teoría de que las diferentes especies investigadas tienen distintos grados de confianza en la información háptica y visual recabadas al explorar los objetos a la hora de juzgar su rigidez. Sin embargo, esta diferencia de entre 10% y 15% en el rendimiento entre las condiciones de manipulación y de observación es demasiado reducida para justificar una afirmación de esta envergadura, teniendo en cuenta, además, que esta diferencia se observó únicamente en los bonobos y orangutanes, pero no en los chimpancés. A la hora de interpretar estos resultados, esperamos que los hallazgos del presente estudio que realizamos con niños pequeños puedan arrojar luz sobre ello. El objetivo de nuestro estudio es explorar si los niños de corta edad (de 23 a 55 meses) son capaces de juzgar la rigidez de determinados objetos (tipo bastón) y seleccionar la herramienta apropiada para extraer una recompensa de un aparato problema y, en ese caso, si necesitan la inspección háptica de las herramientas para optar por la herramienta adecuada.

Método

Participantes

En el estudio participaron 51 niños de la guardería Bosque Encantado y el Centro de Educación Infantil y Primaria Chapatal de Tenerife (España) tras obtener el consentimiento informado tanto de la dirección de los centros como de los padres. Ninguno de los niños incluidos en la muestra había sido diagnosticado con ningún trastorno neurológico, déficit sensoriomotor o problemas de aprendizaje.

La muestra estaba compuesta por 29 niños y 22 niñas y sus edades oscilaban entre 23 y 55 meses (véase [Tabla 1](#) para una descripción detallada de la muestra). En el estudio se observaron las directrices del Código de Ética de la Asociación Médica Mundial (Declaración de Helsinki). Tanto los representantes de los centros como los padres fueron informados sobre las características del estudio antes de firmar su consentimiento y los datos personales recabados se trataron con total confidencialidad. Las sesiones experimentales se incorporaron en los respectivos programas de psicomotricidad y se presentaron como actividades de juego para fomentar la participación de los alumnos y minimizar cualquier posible respuesta neofóbica provocada por la presencia de un experimentador desconocido.

Tabla 1. Distribución de la muestra en función de la edad y del sexo.

Edad (meses)	Frecuencia
23	1 niño
29	1 niño
30	1 niño
31	1 niño
32	1 niño, 1 niña
34	1 niña
35	1 niña
36	1 niña
37	1 niño, 3 niñas
38	3 niños, 1 niña
39	1 niño, 1 niña
40	1 niño, 2 niñas
41	1 niño, 1 niña
42	3 niños, 1 niña
44	1 niña
45	2 niños, 3 niñas
46	3 niños
49	1 niño
50	1 niña
51	1 niño
52	1 niño
53	3 niños, 1 niña
54	3 niños, 2 niñas
55	1 niña

Materiales

Experimento 1: selección de herramientas rígidas

El aparato utilizado en la tarea (véase [Figura 1](#)) era una caja rectangular de madera, cuyos laterales más largos medían 30 cm y los dos lados más cortos medían 20 cm. La altura de la caja era, pues, de 20 cm. La tapa de la caja tenía una ranura de 3 cm perpendicular a los laterales más largos de la caja y que dividía la tapa en dos mitades de 13.5 cm. En la base de los lados más cortos de la caja había sendas aberturas de 15 cm de longitud y 2.5 cm de anchura. La ranura superior permitía introducir una herramienta tipo palo o bastón que, con la orientación y manipulación correctas, permitía deslizar lateralmente el objeto-recompensa situado en el interior hasta hacerlo salir de la caja.

Para la prueba con este aparato, utilizamos seis conjuntos de tres herramientas cada uno que sumaban un total de 18 herramientas tipo bastón y que diferían en color, diámetro, material y, el aspecto clave, rigidez (véase [Figura 2](#) para una descripción detallada). Cada conjunto de herramientas que se presentaba a los participantes estaba compuesto de una herramienta rígida y dos flexibles. En una prueba previa se utilizaron tres bastones de madera, uno de 30 cm de longitud y otros dos de 5 cm, cuyo diámetro era de 0.5 cm. Se utilizaron estos bastones para familiarizar a los niños con la tarea de selección y con las acciones motrices específicas que tenían que realizar para extraer la recompensa de la caja. Incorporamos también lo que en estudios previos se denomina herramientas trampa (Manrique et al., 2010), cuyo aspecto externo no revela su verdadera rigidez. La ventaja de estas herramientas es que el éxito en la fase de selección no puede atribuirse a un uso previo. Por tanto, si los niños seleccionan la herramienta adecuada,



Figura 1. Caja que constituía el aparato problema utilizado en el Experimento 1.

demonstrarían no sólo su capacidad de identificar correctamente su rigidez/flexibilidad sino también su capacidad de vincular esta propiedad a las exigencias de la tarea.

Experimento 2: control de la familiaridad

Se hizo uso del mismo aparato o caja descrito anteriormente, pero esta vez se sustituyeron el conjunto de herramientas utilizadas anteriormente por tres nuevos juegos de herramientas formados por un palo o bastón rígido y dos cables flexibles (Figura 3).

Experimento 3: selección de herramientas flexibles

En este caso, utilizamos un aparato distinto que consistía en un tubo transparente semicircular de 37 cm de longitud y 2 cm de diámetro (en un extremo), y 14 cm de longitud y 4.5 cm de diámetro en el extremo más ancho, donde se había introducido el premio. El tubo se había curvado hasta formar un semicírculo, apoyado horizontalmente sobre una plataforma de madera de 50 cm x 43 cm (Figura 4). Colocamos un cochecito de juguete (alternando el color rojo con el azul en las distintas pruebas) en el extremo más ancho del tubo, que podía extraerse utilizando las herramientas flexibles a modo de palo. Para utilizar con este aparato, preparamos cuatro conjuntos de herramientas nuevas, y por tanto, desconocidas para los niños. Todas tenían una

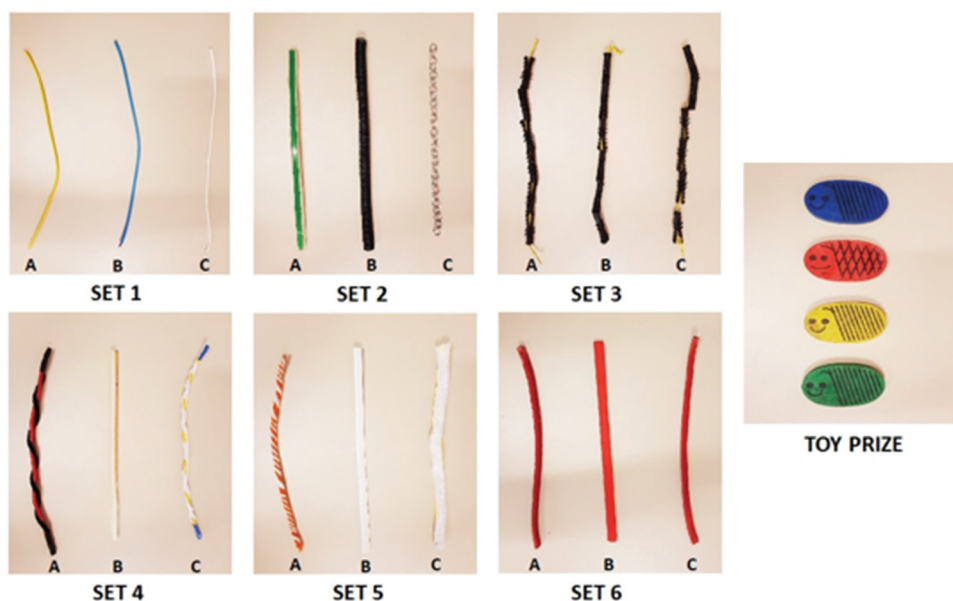


Figura 2. Herramientas utilizadas en el Experimento 1. Cada conjunto de herramientas contenía una herramienta apropiada (panel B) y dos inapropiadas (paneles A y C). Conjunto 1: (A) cable eléctrico Amarillo, diámetro 0.4 cm; (B) cable eléctrico rígido azul, diámetro 0.4 cm; y (C) cable eléctrico blanco, diámetro 0.4 cm. Conjunto 2: (A) barra plástica verde con espuma blanca, 1×0.6 cm; (B) barra plástica hueca negra, diámetro 1.5 cm y (C) cadena metálica, 1.4×0.3 cm. Conjunto 3: Las tres herramientas estaban formadas por piezas plásticas de 4–5 cm de longitud y 0.9 cm de diámetro, unidas para formar una herramienta de 20 cm de longitud. Mientras que en el caso de (A) y (C), las piezas estaban unidas mediante un cordón Amarillo, en el caso de (B) un cable metálico rígido de color Amarillo hacía la misma función. Conjunto 4: (A) bastón rojo con recubrimiento Negro flexible, 1×0.6 cm; (B) bastón de madera circular recubierto de espuma blanca, diámetro 0.5 cm y (C) trenzado de cable eléctrico Amarillo, diámetro 0.4 cm y dos tubos plásticos flexibles de 0.6 cm de diámetro. Conjunto 5: (A) tubo de plástico flexible de color blanco con recubrimiento de tubo naranja en espiral, diámetro 1.2 cm; (B) barra de plástico blanco hueco, 1×0.5 cm y (C) tres tubos plásticos flexibles unidos con caucho Amarillo, 1.02×0.08 cm. Conjunto 6: (A y C) bastón de piel, 1×0.6 cm; (B) bastón de madera roja, 1.03×0.04 cm.

longitud de 30 cm y diferían en color, diámetro, material y, el aspecto clave, rigidez. Cada conjunto estaba compuesto por un bastón flexible y dos rígidos (Figura 5). Antes de comenzar la prueba, realizamos algunos ensayos de familiarización en las que utilizamos un tubo plástico negro de 30 cm de longitud y 0.5 cm de diámetro.

Diseño y procedimiento

Experimento 1

Los participantes se enfrentaron a la caja problema descrita anteriormente (véase Figura 1), que contenía un objeto oval de plástico pintado con una cara sonriente, y que se alternaba en las distintas pruebas en uno de cuatro colores: azul, verde, rojo o amarillo. En primer lugar, los niños practicaron las acciones motoras necesarias para extraer el juguete de la caja. En este caso, se motivó a los niños a ejercitar los

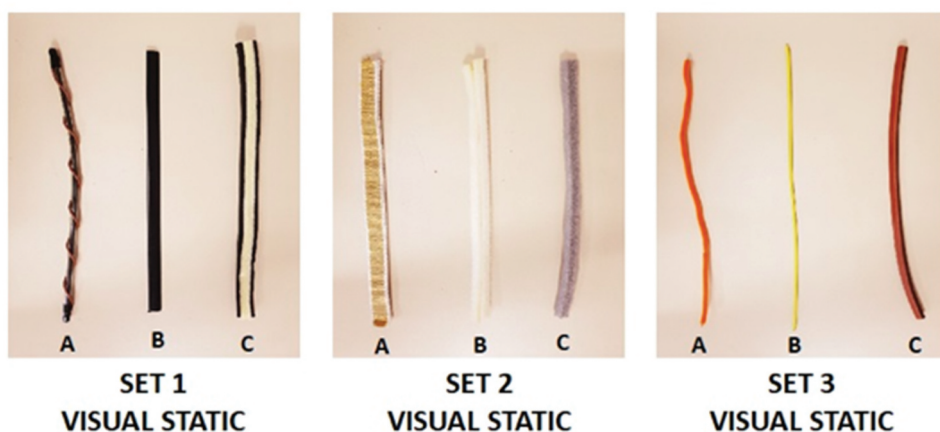


Figura 3. Conjuntos de herramientas utilizadas en el Experimento 2. Cada grupo de herramientas contenía una adecuada (panel B) y dos inadecuadas (A y C). Conjunto 1: tubo hueco transparente con cable marrón enrollado, diámetro 0.08 cm (dentro del tubo transparente había un cable extensible Negro; (B) barra de plástico hueco Negro, 1×0.5 cm; y (C) bastón de espuma blanca con caucho Negro, 1.7×1 cm. Conjunto 2: (A) cinta color crema, 2.5×1 cm; (B) bastón de madera recubierto de espuma blanca, 1.5×1.5 cm y (C) palo de espuma gris, 2×1 cm. Conjunto 3: (A) tubo flexible naranja, diámetro 0.6 cm; (B) cable eléctrico rígido Amarillo y (C) bastón de piel marrón, 1×0.6 cm.

movimientos necesarios para extraer el juguete de la caja antes de familiarizarlos con la rutina de selección de herramientas o comenzar la prueba de rigidez propiamente dicha. La experimentadora introdujo el juguete en la caja y, con un bastón de madera de 30 cm deslizó hábilmente el objeto hacia un lateral hasta que lo extrajo por una de las aberturas laterales. Mientras realizaba estas acciones, la experimentadora pidió a los niños que la observasen atentamente. Cuando consiguió extraer el objeto de la caja, esta exclamó con entusiasmo: ¡Mirad, ya está! ¡Está fuera! Entonces pedía al participante que volviese a introducir el objeto en la caja y que probase a sacarlo ella. Si tras un minuto no lo había conseguido, la experimentadora lo ayudaba guiando con suavidad los movimientos de su mano. Esta fase de preparación finalizaba cuando el niño o la niña conseguía extraer el objeto cinco veces seguidas sin ayuda de la experimentadora. Entonces, se procedía a la fase preliminar de la prueba, en la que los participantes tenían que seleccionar la única herramienta suficientemente larga (30 cm) para la tarea, puesto que las otras dos sólo medían 5 cm y, por tanto, eran demasiado cortas. Las tres herramientas habían sido colocadas en el suelo, frente al aparato, paralelas entre ellas (con unos 10 cm de separación). Con esta prueba previa, que constaba de dos intentos, se pretendía familiarizar a los participantes con la rutina de selección de una herramienta. Por último, se procedió a la prueba de *rigidez*, que comenzó con la presentación de tres herramientas similares a un bastón, que la experimentadora dejó en el suelo (una rígida y, por tanto, funcional, y dos flexibles e inapropiadas para la tarea) para que los participantes escogieran la que creían más adecuada para extraer el juguete de la caja. A cada niño se le permitió hacer 12 intentos en total (dos por cada conjunto de herramientas) en días distintos, distribuidos en seis pruebas diarias. Al enfrentarse por

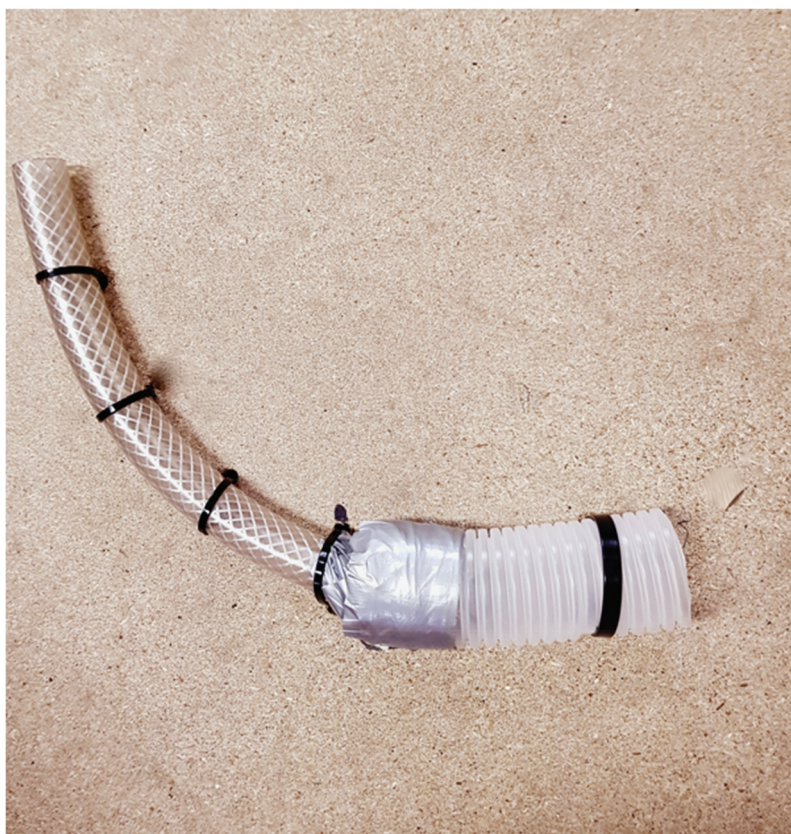


Figura 4. Aparato utilizado en el Experimento 3 elaborado con un tubo.

primera vez a cada conjunto de herramientas, los niños podían obtener información sobre ellas bien (1) mediante la manipulación directa de cada una de ellas (condición de manipulación) en ausencia del aparato, o bien (2) mediante la observación de la experimentadora, que manipulaba y doblaba las herramientas durante cinco segundos cada una (condición de observación). Se contrabalanceó la condición (manipulación vs observación) entre las diversas sesiones y sujetos, es decir, si en la primera sesión un niño había realizado las seis pruebas correspondientes a los conjuntos de herramientas 1, 2 y 3 en la condición de manipulación, el día siguiente realizaría las seis pruebas siguientes con las herramientas 5, 6 y 7 en la condición de observación. Por tanto, la mitad de los participantes experimentaron la condición de manipulación primero y la otra mitad lo harían al final. Cuando los participantes ya hubieron manipulado u observado la manipulación de las herramientas, la experimentadora las recogió de nuevo y las colocó en el suelo, en paralelo y a 10 cm de distancia, en su lugar correspondiente. Entonces, apartando su mirada para no influir en la decisión del participante, pidió al participante que seleccionase una de ellas para extraer el juguete de la caja. Tras optar por una de las herramientas, el niño o la niña disponía de tres minutos para extraer el juguete de la caja. Las dos sesiones se realizaron en días distintos y siempre comenzaron con las dos actividades de familiarización descritas

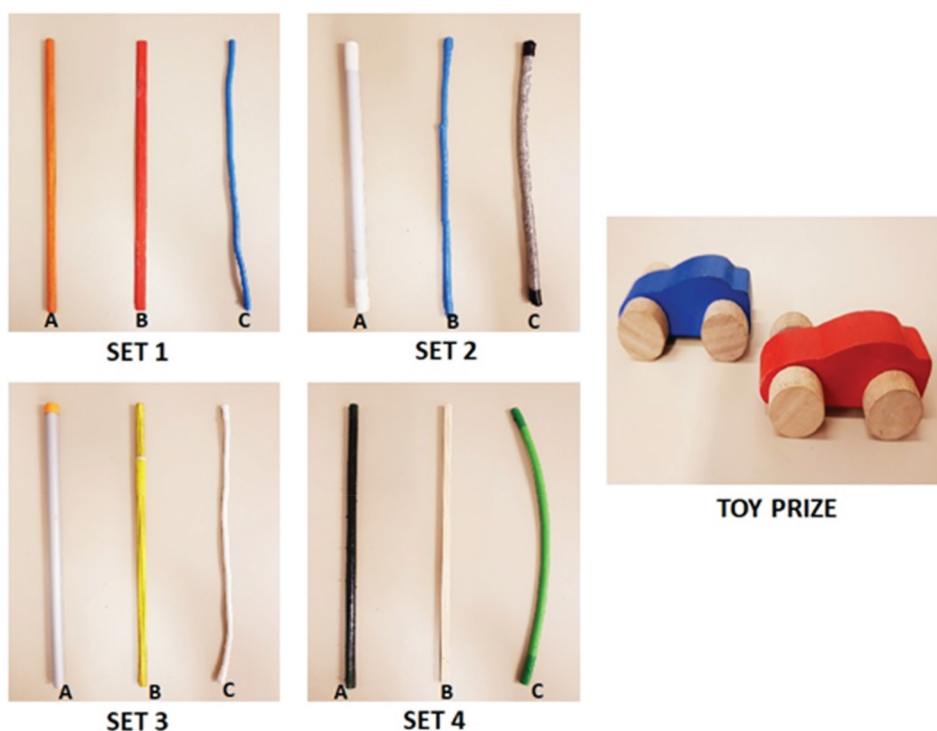


Figura 5. Conjuntos de herramientas utilizadas en el Experimento 3. Cada conjunto contenía una herramienta apropiada (panel C) y dos inapropiadas (A y B). Conjunto 1: (A) bastón redondo de madera naranja, diámetro 1 cm; (B) bastón de madera rojo, 1.03×0.04 cm y (C) cable eléctrico azul, diámetro 0.8 cm. Conjunto 2: (A) tubo plástico hueco blanco, diámetro 1.5 cm; (B) bastón de madera redondo azul, diámetro 1 cm y (C) tubo de ducha, diámetro 1.2 cm. Conjunto 3: (A) tubo hueco de plástico gris, diámetro 1.5 cm; (B) bastón de madera redondo Amarillo, diámetro 1 cm y (C) cable eléctrico blanco, diámetro 0.8 cm. Conjunto 4: (A) bastón de madera redondo verde oscuro, diámetro 1 cm; (B) bastón de madera cuadrado, 1×1 cm y (C) cable eléctrico verde, diámetro 1 cm.

anteriormente, en las que los niños disponían de tres bastones de madera, dos de 5 cm de longitud, demasiado cortos, y uno de 30 cm y, por tanto, apropiado para la tarea. Durante toda la sesión de prueba, la experimentadora y el participante estaban sentados frente a frente, con el aparato entre ellos.

Experimento 2

Se llevó a cabo después de haber finalizado el Experimento 1 y se reprodujo exactamente el mismo procedimiento, con la excepción de que se omitieron los cinco ensayos consecutivos destinados a familiarizar a los niños con las acciones motoras de la prueba de extracción (puesto que los participantes ya se habían familiarizado con ellos en el Experimento 1) y que esta prueba tuvo lugar en una única sesión. Asimismo, se utilizaron tres nuevos conjuntos de herramientas, compuestos por una herramienta rígida y dos flexibles, para un total de seis pruebas de selección. Este Experimento 2 también difería del primero en un tercer aspecto importante: no se facilitó ningún tipo de información previa sobre la rigidez o flexibilidad de las herramientas antes de la

selección. Tras las dos pruebas previas consecutivas de familiarización con los bastones de distinta longitud, la experimentadora pidió a los niños que se diesen la vuelta y esperasen nuevas instrucciones. Mientras los niños miraban hacia otro lado, la experimentadora colocó las herramientas en su lugar asignado. Al darse la vuelta y ver de nuevo el aparato, el participante tenía que seleccionar la herramienta que quería utilizar para extraer el juguete del tubo. Nótese que las nuevas herramientas, desconocidas para el participante, estaban dispuestas en el suelo y por tanto no revelaban información sobre su flexibilidad o rigidez. Con este experimento se pretendía controlar la familiaridad. Si el niño o niña no seleccionaba la herramienta correcta en esta condición sin información previa, significaría que el éxito en el Experimento 1 y/o en el Experimento 3 siguiente obedecía a su capacidad de juzgar la rigidez de la herramienta en relación con la tarea y no a su experiencia previa con las herramientas y/o los materiales utilizados en el estudio.

Experimento 3

En este caso se siguió el mismo procedimiento que en el Experimento 1, excepto que los participantes tenían que seleccionar la única herramienta flexible de entre las que había en el suelo, que pudiese doblarse y adaptarse a la curva del aparato para alcanzar el coche de juguete que había en el interior. Otra diferencia con el Experimento 1 es que se utilizaron cuatro conjuntos de herramientas en lugar de seis, y cada uno de ellos estaba formado por una herramienta flexible y dos rígidas, todas ellas de 40 cm de longitud (para una descripción detallada, véase la [Figura 5](#)). La condición de información (manipulación vs observación) que precedía a cada selección de una herramienta se contrabalanceó entre los participantes y las sesiones. Dado que solo disponíamos de cuatro conjuntos de herramientas distintos, incrementamos el número de ensayos con cada uno de ellos de dos a tres ensayos, hasta alcanzar los seis ensayos por cada condición, como en el Experimento 1. Los test de evaluación de la rigidez comenzaron todas con la experimentadora introduciendo el coche de juguete en el tubo (alternando el color de rojo a azul en cada una de las pruebas), seguido por una demostración de las propiedades de las herramientas (manipulación/observación) y por la selección de una de las herramientas por el participante de entre las tres disponibles. Tras seleccionar la herramienta que quería utilizar, el participante disponía de tres minutos para extraer el coche del tubo.

Al principio de la primera sesión, antes de comenzar el test de rigidez, los participantes habían practicado las acciones necesarias para extraer un objeto del tubo. Para ello, la experimentadora introdujo el coche de juguete en el tubo y mostró a los participantes cómo introducir un bastón negro flexible, de 1 cm de diámetro, para sacarlo. Tras esta demostración, los participantes tenían que hacerlo ellos solos cinco veces consecutivas antes de progresar a la prueba de evaluación de la rigidez. En el Experimento 3 omitimos los dos ensayos previos en los que los participantes tenían que seleccionar la herramienta más larga antes de proceder a la prueba de evaluación de la rigidez, puesto que en esta fase, ya habían adquirido la experiencia suficiente con la rutina de selección.

Aunque los tres experimentos incluidos en este estudio se describen por separado, en las secciones siguientes se analizan y comentan en conjunto, puesto que fueron concebidos como una unidad conceptual. Por tanto, el foco se centra en los distintos

factores investigados y en las relaciones entre ellos, más que en el propio experimento. Tendremos en cuenta el efecto de determinados factores — aparato (caja vs tubo), condición (manipulación vs observación vs información visual estática) y edad (en meses) — sobre el éxito o rendimiento en la tarea (número de ensayos en los que el participante selecciona la herramienta adecuada para extraer el objeto recompensa del aparato).

Resultados

En la [Tabla 2](#) se muestran los estadísticos descriptivos que indican el porcentaje de éxito o rendimiento para los distintos aparatos y condiciones. El número de pruebas correctas (en adelante, *aciertos*) definido como la selección de la herramienta correcta y su uso para extraer el objeto del aparato, se analizó aplicando el modelo lineal de efectos mixtos Poisson (Baayen et al., 2008; Bates, 2005). Para los análisis se utilizó el programa estadístico R con el paquete lme4 (Bates & Maechler, 2009).

En el primer modelo se introdujo el factor *aparato* (caja vs tubo) como factor intragrupal (omitiendo la condición de información visual estática, que se utilizó únicamente para la caja). También se incluyó en el modelo la covariable *edad* (centrada en función de la media global).

Para el análisis de la varianza se aplicó un diseño mixto ajustado. Se estimó el modelo siguiendo las indicaciones de Barr et al., (2013) con el factor intra participantes como factor fijo y pendientes aleatorias entre los participantes. Los resultados revelan un efecto principal significativo del *aparato*, con mayor número de aciertos (selección de la herramienta adecuada) en el caso de la caja que en el caso del tubo, $\chi^2(1) = 13.80$, $p < .001$. La covariable *edad* también era significativa, $\chi^2(1) = 4.45$, $p < .05$. No se observaron interacciones significativas.

En el segundo modelo mixto Poisson (con las mismas características que el anterior), se introdujeron las tres condiciones de prueba (manipulación, observación e información visual estática) únicamente para la prueba con la caja. De nuevo, la edad se introdujo como covariable. Los resultados muestran un único efecto de la tarea, $\chi^2(1) = 24.48$, $p < .001$. Las comparaciones post-hoc realizadas, siguiendo el método Hochberg, revelaron diferencias fiables entre manipulación e información visual estática, $z = 3.51$, $p < .001$, y entre observación e información visual estática, $p < .001$, pero no entre manipulación y observación. La edad covariada y la interacción no eran significativas.

En el tercer modelo se analizó únicamente las pruebas con el tubo, junto a la edad como covariable. La diferencia entre manipulación y observación no era significativa; sin embargo, la edad covariada resultó significativa, $\chi^2(1) = 5.97$, $p < .01$.

Tabla 2. Rendimiento medio (porcentaje de aciertos) en función de la condición y del aparato.

		Aparato	
		Caja	Tubo
Condición (Fuente de información)	Manipulación propia	62.75	47.38
	Observación del experimentador adulto	60.13	44.77
	Visual estática	35.95	Sin información

En un nuevo análisis con modelo mixto se analizaron de nuevo los ensayos con el tubo. En este modelo, se excluyó el factor *condición* (manipulación-observación) puesto que en el modelo previo no había producido valores significativos. A continuación se introdujo en el modelo la posición del ensayo en la serie (primera, segunda, [...], sexta), con la edad como covariable. Como cabía esperar, la edad era significativa de nuevo, $\chi^2(1) = 10.68, p < .001$. Pero lo más importante es que el orden de administración de ensayos también era significativo, $\chi^2(1) = 33.50, p < .001$. Las comparaciones post-hoc (tras el ajuste de Hochberg) reveló una diferencia significativa entre los primeros y los últimos ensayos administrados, $p < .001$. En los últimos ensayos se observó un número significativamente mayor de aciertos que en los primeros.

Discusión

El rendimiento de los niños en este estudio es muy similar al descrito en el estudio con grandes simios y monos capuchinos (Manrique et al., 2010, 2011). Los niños, como las crías de otros primates, utilizaron la información obtenida mediante su propia exploración háptica de las herramientas o a partir de la demostración del modelo, para valorar la rigidez de las herramientas. No se observaron diferencias en el rendimiento de los participantes entre las condiciones de manipulación y de observación. Es decir, los niños no necesitaron tocar las herramientas para tomar las decisiones correctas, sino que les bastó con observar a la experimentadora adulta manipularlas y doblarlas durante cinco segundos. Por otro lado, la condición visual estática no aportó información fiable para tomar las decisiones correctas, por lo que se descarta la posibilidad de que los participantes seleccionasen la herramienta en las otras dos condiciones (manipulación y observación) gracias a su experiencia previa con esas herramientas o materiales concretos y su conocimiento sobre su efectividad. Este control era esencial puesto que, a diferencia de los simios y los capuchinos, no contábamos con un registro de los materiales manipulados por los niños antes del estudio.

La tarea con el aparato caja resultó más fácil de resolver que la tarea con el aparato tubo, lo que corrobora el patrón de resultados descritos anteriormente en el caso de los grandes simios y los monos capuchinos. No obstante, el hecho que la tasa de éxito en el sexto ensayo con el tubo sea mucho mayor que la del primer ensayo parece contradecir la línea argumental sobre las diferencias a nivel conceptual en la comprensión de la rigidez y la flexibilidad. Es posible que los niños tuvieron que anular la respuesta predominante de seleccionar una herramienta rígida antes de hacer el cambio a seleccionar herramientas flexibles. Debemos tener en cuenta que los participantes siempre se enfrentaban a la prueba del tubo después de haber resuelto las pruebas de la caja, en las que se había reforzado la selección de una herramienta rígida. Cabía esperar, pues, que los niños hubiesen desarrollado cierta preferencia hacia los objetos rígidos, una preferencia a la que se tendrían que sobreponer para cambiar sus preferencias. También es posible que el efecto refuerzo del objeto-recompensa se intensificara con los elogios verbales recibidos por parte de la experimentadora al conseguir extraerlo del aparato (para una revisión exhaustiva de este aspecto, véase Marcovitch & Zelazo, 2009). A pesar de que las diferencias de rendimiento entre ambos aparatos están relacionadas con la experiencia previa, hay que señalar que estas diferencias eran más

pronunciadas en el caso de los grandes simios y de los niños que en los monos capuchinos. Dicho de otro modo, los monos capuchinos eran capaces de superar los efectos adversos de la experiencia previa con mayor rapidez.

Un número considerable de niños de mayor edad (cerca de los cuatro años) mostraron un rendimiento que parecía reflejar una selección al azar, mientras que algunos de los más jóvenes (alrededor de los tres años) resolvieron las tareas satisfactoriamente. Esto impidió que se observara un incremento constante en el rendimiento en función de la edad. Dado que el tamaño de la muestra era reducido y el rendimiento de los participantes era errático, resultó imposible determinar estadísticamente una edad específica en la que los niños conseguían resolver las pruebas, tanto con la caja como con el tubo, por encima del nivel de probabilidad atribuida al azar. Este patrón de resultados tan poco característico podría atribuirse a la falta de motivación de los participantes de mayor edad. Dada la amplia distribución de edades en la muestra, es difícil dar con un objeto-recompensa que motivase por igual a todos los participantes.

En general, tanto los grandes simios (con un éxito promedio similar en las cuatro especies) como los monos capuchinos mostraron un rendimiento significativamente mayor al de los niños, tanto con la caja como con el tubo, en todas las condiciones analizadas (véase Manrique et al., 2010, 2011, así como [Tabla 2](#)). Es cierto que nuestra muestra estaba compuesta únicamente por niños de corta edad, mientras que las muestras de capuchinos y simios eran principalmente adultos. Estos resultados son coherentes con investigaciones previas en las que niños menores de 18 meses tenían dificultades en el uso de un rastrillo para atraer hacia sí un objeto deseado, si el objeto y el rastrillo no estaban en contacto directo. Asimismo, los niños de 22 meses solo conseguían alcanzar el objeto-recompensa utilizando un rastrillo en un modesto 22% de los ensayos cuando el objeto y el rastrillo estaban separados por un espacio amplio (Rat-Fischer et al., 2012).

También nos preguntamos si el hecho de que la experimentadora desviara su mirada cuando los niños iban a seleccionar la herramienta los podría haber desconcertado. Los niños, a diferencia de los primates no humanos, tratan de establecer activamente contacto visual con los adultos, especialmente cuando buscan confirmación o seguridad.

El resultado más interesante de este estudio tal vez sea que la inspección manual de las herramientas no fue necesaria para la selección correcta de la herramienta adecuada. Resulta especialmente interesante que la rigidez/flexibilidad, una propiedad más sentida que observada, sin embargo se pueda determinar sin necesidad de recabar información háptica. Esto reproduce casi exactamente lo descrito sobre los grandes simios y monos capuchinos en estudios previos (Manrique et al., 2010, 2011). En un estudio realizado por Klatzky et al. (2005) se investigó si los niños de cuatro años serían capaces de juzgar correctamente la viabilidad de una cuchara para transportar un caramelo y la funcionalidad de un palo para remover una sustancia concreta. En este último ejemplo, la rigidez era un aspecto clave conectado con la eficacia. Los autores también investigaron qué fuentes de información (visual vs háptica) preferirían los participantes para informar sus decisiones. Los resultados revelaron que los niños optaron por la exploración háptica de la herramienta para remover (palo o bastón), pero valoraron la herramienta para el transporte principalmente mediante la observación. Estos resultados son en apariencia contradictorios con los nuestros, pero en el estudio de Klatzky et al. (2005) no se contó con un experimentador que manipulase las herramientas ante los niños, por

lo que estos se vieron obligados a tocar las herramientas por sí mismos. Que el tacto desempeña un papel clave para determinar si un objeto es rígido es innegable, como lo es que no se puede reemplazar por ninguna otra modalidad perceptiva. Sin embargo, ver cómo un objeto se dobla al aplicar fuerza sobre él siempre va acompañado del sentido de fragilidad o flexibilidad de ese objeto, y eso explica por qué la mera observación resultó ser suficiente para realizar la selección adecuada.

En Gardiner et al. (2012) se exploraron las habilidades resolutorias de niños de dos y tres años frente a seis aparatos problema distintos. Se les pidió que seleccionasen las herramientas apropiadas para la tarea. El experimentador manipuló el grado de dificultad de las tareas, así como el tipo de información facilitada. Cuando los niños observaron al experimentador realizar las acciones necesarias para extraer un juguete del aparato con una herramienta determinada, su selección de herramienta fue más precisa que cuando se les permitió manipular las herramientas y los aparatos por sí mismos, sin demostración previa. Cuando se combinó la información háptica y observacional del uso de las herramientas y de los aparatos antes de darles acceso a las herramientas, la información háptica aportaba muy poco a la precisión de la selección. Resulta de particular interés que, cuando se les ofreció una demostración previa y después se les permitió realizar una exploración háptica de las herramientas, los niños obtenían mejores resultados que cuando se presentaron estas dos condiciones en orden inverso. Esto podría indicar que los niños que se familiarizaron previamente con los requisitos de la tarea inspeccionaron las herramientas en busca de ciertas características que responderían a las exigencias de la tarea. Es posible que lo que el estudio de Gardiner et al. (2012) y nuestro estudio sugieren es que, para el uso de herramientas, los niños confían más en la demostración de los adultos que en su propia inspección. Esta propuesta encuentra apoyo en los estudios de imitación, en los que el uso que los niños hacen de las herramientas está altamente influido por aspectos sociales, más que por aspectos técnicos (Nielsen & Blank, 2011; Over & Carpenter, 2012).

Otra explicación alternativa a la prominencia de la información visual en la selección de la herramienta apropiada en estudios previos y actuales podría ser que la inspección manual de lo niños es menos completa y precisa que la de los adultos. Esta explicación se ve corroborada por los resultados de Kalagher and Jones (2011), quienes llevaron a cabo un estudio en el que adultos y niños de dos a cinco años exploraban objetos desconocidos, bien mediante una inspección háptica o bien visual, y después tenían que seleccionar un objeto semejante entre tres objetos, únicamente mediante su inspección visual. En sus resultados, los autores indican que los niños menores de cinco años fallaban sistemáticamente en la inspección de objetos que no habían visto anteriormente y, por tanto, sus resultados eran menos precisos. Tal vez cuando se les permitió manipular los objetos, los participantes en nuestro estudio no realizaron las operaciones manuales críticas con las herramientas (doblar y desdoblar) que les hubiese permitido obtener el máximo de información para tomar la decisión apropiada. En otras palabras, quizás la exploración háptica aportaba muy poco a la selección precisa de la herramienta debido a su escaso dominio de la inspección manual de estas.

Para finalizar nuestra discusión, procedemos a resumir los resultados principales de nuestro estudio, así como sus limitaciones. Aunque no hemos logrado establecer una edad concreta en la que los niños comprenden el concepto abstracto flexibilidad/rigidez, hemos conseguido demostrar que la observación de un adulto manipulando y doblando la herramienta basta para realizar la selección apropiada. Otra información valiosa que podemos

extraer del rendimiento modesto (cuando no pobre) de los participantes es que el rendimiento mostrado tanto por los grandes simios como por los capuchinos en estudios previos con problemas similares es bastante notable, siempre superando el 60% de aciertos, en el peor de los casos. La principal limitación de nuestro estudio es que tal vez la amplia distribución en la edad de los participantes se tradujo en muy pocos sujetos en cada grupo etario, lo que dificultó la detección de transiciones evolutivas en la valoración de la rigidez/flexibilidad. También merece la pena investigar si el desarrollo lingüístico facilita el rendimiento y, en ese caso, cómo lo hace, puesto que existe un consenso general en que el lenguaje es esencial para la autorregulación desde muy temprana edad (Vallotton & Ayoub, 2010).

Conclusiones

Los niños, comparados con los grandes simios y los monos capuchinos observados en estudios previos, mostraron mayor dificultad para seleccionar y utilizar objetos con la rigidez o flexibilidad apropiadas para extraer un objeto-recompensa de una caja-problema. La inspección visual de las herramientas mientras estas eran manipuladas y dobladas por un experimentador adulto les facilitó toda la información necesaria para realizar la selección adecuada. Es decir, la inspección háptica de las herramientas no suponía una ventaja para resolver la tarea satisfactoriamente, a pesar de que la rigidez y la flexibilidad son propiedades que principalmente se *palpan*, más que se observan.

Acknowledgements / Agradecimientos

We would like to thank the staff from Bosque Encantado kindergarten and the CEIP Chapatal (Infant and Primary School) in Tenerife, Spain, for being so helpful and making our task much easier. We would also like to thank the participants and their parents. / *Nos gustaría expresar nuestro agradecimiento al personal de la guardería Bosque Encantado y del colegio CEIP Chapatal (Tenerife) por facilitarnos enormemente la tarea de recogida de datos, y por su amabilidad y trato cercano. También nos gustaría expresar nuestro agradecimiento a las niñas y niños que participaron en el estudio y a sus familias.*

Disclosure statement / Conflicto de intereses

No potential conflict of interest was reported by the authors. / *Los autores no han referido ningún potencial conflicto de interés en relación con este artículo.*

ORCID

Juan Hernández-Cabrera  <http://orcid.org/0000-0001-6731-5670>

References / Referencias

- Baayen, R. H., Davidson, D. J., & Bates, D. M. (2008). Mixed-effects modeling with crossed random effects for subjects and items. *Journal of Memory and Language*, 59(4), 390–412. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2007.12.005>
- Barr, D. J., Levy, R., Scheepers, C., & Tily, H. J. (2013). Random effects structure for confirmatory hypothesis testing: Keep it maximal. *Journal of Memory and Language*, 68(3), 255–278. <https://doi.org/10.1016/j.jml.2012.11.001>

- Bates, D. M. (2005). Fitting linear mixed models in R. *R News*, 5(1), 27–30.
- Bates, D. M., & Maechler, M. (2009). *lme4: Linear mixed-effects models using Eigen and Eigenfaces* [Computer software manual]. <http://CRAN.R-project.org/package=lme4>
- Bruner, E. (2010). Morphological differences in the parietal lobes within the human genus: A neurofunctional perspective. *Current Anthropology*, 51(S1), S77–S88. <https://doi.org/10.1086/650729>
- Clearfield, M. W., Stanger, S. B., & Jenne, H. K. (2015). Socioeconomic status (SES) affects means-end behavior across the first year. *Journal of Applied Developmental Psychology*, 38, 22–28. <https://doi.org/10.1016/j.appdev.2015.02.001>
- Fagard, J., Rat-Fischer, L., & O'Regan, J. K. (2014). The emergence of use of a rake-like tool a longitudinal study in human infants. *Frontiers in Psychology*, 5, 491. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2014.00491>
- Falk, D. (1980). A reanalysis of the South African australopithecine natural endocasts. *American Journal Physical Anthropology*, 53(4), 525–539. <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330530409>
- Gardiner, A. K., Bjorklund, D. F., Greif, M. L., & Gray, S. K. (2012). Choosing and using tools: Prior experience and task difficulty influence preschoolers' tool-use strategies. *Cognitive Development*, 27(3), 240–254. <https://doi.org/10.1016/j.cogdev.2012.05.001>
- Hecht, E. E., Gutman, D. A., Preuss, T. M., Sanchez, M. M., Parr, L. A., & Rilling, J. K. (2013). Process versus product in social learning: Comparative diffusion tensor imaging of neural systems for action execution–observation matching in macaques, chimpanzees, and humans. *Cerebral Cortex*, 23(5), 1014–1024. <https://doi.org/10.1093/cercor/bhs097>
- Holloway, R. L. (2008). The human brain evolving: A personal retrospective. *Annual Review of Anthropology*, 37(1), 1–19. <https://doi.org/10.1146/annurev.anthro.37.081407.085211>
- Kalagher, H., & Jones, S. S. (2011). Young children's haptic exploratory procedures. *Journal of Experimental Child Psychology*, 110(4), 592–602. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2011.06.007>
- Klatzky, R. L., Lederman, S., & Mankinen, J. M. (2005). Visual and haptic exploratory procedure in children's judgments about tool function. *Infant Behavior & Development*, 28(3), 240–249. <https://doi.org/10.1016/j.infbeh.2005.05.002>
- Köhler, W. (1925). *The mentality of apes*. Routledge & Kegan Paul.
- Manrique, H. M., Gross, A. N.-M., & Call, J. (2010). Great apes select tools based on their rigidity. *Journal of Experimental Psychology: Animal Behavior Processes*, 36(4), 409–422. <https://doi.org/10.1037/a0019296>
- Manrique, H. M., Sabatini, G., Call, J., & Visalberghi, E. (2011). Tool choice on the basis of rigidity in capuchin monkeys. *Animal Cognition*, 14(6), 775–786. <https://doi.org/10.1007/s10071-011-0410-9>
- Manrique, H. M., & Walker, M. J. (2017). *Early evolution of human memory*. Palgrave Macmillan.
- Marcovitch, S., & Zelazo, P. D. (2009). A hierarchical competing systems model of the emergence and early development of executive function. *Developmental Science*, 12(1), 1–18. <https://doi.org/10.1111/j.1467-7687.2008.00754.x>
- Nielsen, M., & Blank, C. (2011). Imitation in young children: When who gets copied is more important than what gets copied. *Developmental Psychology*, 47(4), 1050–1053. <https://doi.org/10.1037/a0023866>
- Over, H., & Carpenter, M. (2012). Putting the social into social learning: Explaining both selectivity and fidelity in children's copying behavior. *Journal of Comparative Psychology*, 126(2), 182–192. <https://doi.org/10.1037/a0024555>
- Piaget, J. (1952). *The origins of intelligence in the child*. Routledge.
- Piaget, J. (1954). *The construction of reality in the child*. Routledge and Kegan Paul Ltd.
- Rat-Fischer, L., Ke Vin O'regan, J., & Fagard, J. (2012). The emergence of tool use during the second year of life. *Journal of Experimental Child Psychology*, 113(3), 440–446. <https://doi.org/10.1016/j.jecp.2012.06.001>
- Vallotton, C., & Ayoub, C. (2010). Use your words: The role of language in the development of toddlers' self-regulation. *Early Childhood Research Quarterly*, 26(2), 169–181. <https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2010.09.002>