University of Groningen

Microdevelopment of peer interactions and scientific reasoning in young children

Guevara, Marlenny; van Dijk, Marijn; van Geert, Paul

Published in:
Infancia y Aprendizaje

DOI:
[10.1080/02103702.2016.1215083](https://doi.org/10.1080/02103702.2016.1215083)

IMPORTANT NOTE: You are advised to consult the publisher's version (publisher's PDF) if you wish to cite from it. Please check the document version below.

Document Version
Publisher's PDF, also known as Version of record

Publication date:
2016

[Link to publication in University of Groningen/UMCG research database](#)

Citation for published version (APA):

Guevara, M., van Dijk, M., & van Geert, P. (2016). Microdevelopment of peer interactions and scientific reasoning in young children. *Infancia y Aprendizaje*, 39(4), 727-771.
<https://doi.org/10.1080/02103702.2016.1215083>

Copyright

Other than for strictly personal use, it is not permitted to download or to forward/distribute the text or part of it without the consent of the author(s) and/or copyright holder(s), unless the work is under an open content license (like Creative Commons).

The publication may also be distributed here under the terms of Article 25fa of the Dutch Copyright Act, indicated by the "Taverne" license. More information can be found on the University of Groningen website: <https://www.rug.nl/library/open-access/self-archiving-pure/taverne-amendment>.

Take-down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

Downloaded from the University of Groningen/UMCG research database (Pure): <http://www.rug.nl/research/portal>. For technical reasons the number of authors shown on this cover page is limited to 10 maximum.

Microdevelopment of peer interactions and scientific reasoning in young children / *Microdesarrollo de la interacción entre pares y el razonamiento científico en niños pequeños*

Marlenny Guevara^a, Marijn van Dijk^b, and Paul van Geert^b

^a*Universidad del Valle*; ^b*University of Groningen*

(Received 25 September 2015; accepted 10 May 2016)

Abstract: Traditional analyses of reasoning and interactions often describe the building of knowledge by comparing general outcomes of group data (e.g., averages, frequencies and percentages) and as a result, often neglect the underlying individual processes. In this paper, we present a case study of two dyads of children (four to six years old) working on a problem-solving task and aim to capture the moment-to-moment changes in a time serial data set. Particularly, we present the changes in the types of interactions and scientific reasoning skills (SRS) during a single problem-solving task. The three descriptive techniques implemented in the data analysis are: (1) a time-series analysis to track the behaviours from moment to moment; (2) transition matrices to describe behaviour changes; and (3) a hierarchical agglomerative clustering (HAC) with a hybrid clustering technique used to detect dyadic patterns. Our results describe the intra-individual variability of the dyads, supporting the assumption of the non-ergodicity (i.e., neither homogeneous nor static) condition of psychological processes. We show that intra-individual trajectories in the children's behaviours are neither homogeneous nor stationary, but variable over time.

Keywords: microdevelopment; non-ergodicity; peer interaction; process analysis; scientific reasoning

Resumen: Análisis tradicionales acerca del razonamiento e interacción, suelen describir la construcción del conocimiento a través de comparaciones de resultados generales de datos grupales (e.g., medias, frecuencias y porcentajes) y, en consecuencia, a menudo se descuidan los procesos individuales subyacentes. En este artículo se presenta el estudio de caso de dos díadas de niños (entre cuatro y seis años) que trabajan en una tarea de resolución de problemas. El propósito es capturar los cambios que se dan momento a momento en un conjunto de datos temporales. En particular, presentamos los cambios en el tipo de interacciones y en las habilidades de razonamiento científico durante una tarea de resolución de problemas. Tres

English version: pp. 727–746 / *Versión en español*: pp. 747–767

References / *Referencias*: pp. 767–771

Translated from English / *Traducción del inglés*: Mercè Rius

Authors' Address / *Correspondencia con los autores*: Marlenny Guevara, Instituto de Psicología, Universidad del Valle, Calle 13 No. 100-00 Edificio 385, oficina 4008, 760032 Cali, Colombia. E-mail: marlenny.guevara@correounivalle.edu.co

técnicas descriptivas fueron empleadas en el análisis de los datos: (1) análisis de series de tiempo para hacer un seguimiento de los comportamientos de momento a momento; (2) matrices de transición, para describir los cambios en el comportamiento; y (3) análisis de agrupación jerárquica aglomerativa, utilizando una técnica híbrida de agrupación para detectar patrones en el comportamiento de las díadas. Los resultados describen la variabilidad intra-individual de las díadas, apoyando así la hipótesis de no ergodicidad, (carácter no homogéneo ni estático) de los procesos psicológicos. Se muestra entonces que las trayectorias intra-individuales de los niños no son homogéneas ni estacionarias, sino que varían a lo largo del tiempo.

Palabras clave: microdesarrollo; no ergodicidad; interacción entre pares; análisis de procesos; razonamiento científico

Though most research on children's learning and development is based on group analyses and single measures, there is an increasing attention to case studies that describe the individual processes that take place in the short term (Granott & Parziale, 2002). In relation to this, Molenaar and Campbell (2009) have suggested the use of intra-individual analysis as the 'new person-specific paradigm in psychology' (p. 112). The basis for this approach is the fact that psychological processes are neither homogeneous nor static (two characteristics known as ergodic principles). Instead, they are characterized by much variance across subjects and moment-to-moment changes. By assuming this non-ergodicity, psychological studies cannot generalize the group-based findings to the level of the variation of the individuals. Molenaar (2010) argues that studying intra-individual variation within single subjects is required to obtain valid information about developmental processes. In a similar way, Salvatore and Valsiner (2009) described psychology as an idiographic science and argue that individual cases provide information on psychological phenomena because they show how the actual processes take place in a specific context. With regard to the relevance of individual variability, Kuhn, Garcia-Mila, Zohar, and Andersen (1995) acknowledge the presence of individual differences by arguing that 'at least part of the variability in performance across content resides in the subject, rather than exclusively in the task' (p. vi).

Developmental researchers incorporating a complex dynamic systems approach have embraced a similar type of person-centred and idiographic approach by using methods that capture the non-linearity and the dynamic nature of psychological processes. Therefore, they often use designs with smaller numbers of participants but with extensive collections of repeated measurements over extended periods of time (Nesselroade & Molenaar, 2010). In these studies, the within-person variation is the main source of information. Following this idiographic approach, we used several techniques (i.e., time-series graphs, transition matrices and hierarchical agglomerative clustering) that capture the short-term changes in datasets with repeated measures. In our case, the target behaviours are the interactions and the scientific reasoning skills (SRS) of preschool children, working in dyads.

From the literature, dyadic interaction has been considered relevant for the early development of social functions such as reciprocity and communicative skills (see Williams, Ontai, & Mastergeorge, 2010) and for the construction of knowledge (see Doise, Mugny, & Perret-Clermont, 1976; Gopnik, 2012; Rojas-Drummond, 2009). For example, Srinivas (2011) states that collaborative learning contributes to both social and cognitive skills such as higher levels of thinking skills, empathy, self-esteem, interaction and familiarity among students.

Related to the development of SRS, a body of literature provides evidence of how young children from age three onwards are able to formulate hypotheses, elaborate descriptions, predictions and explanations of events, make causal inferences and carry out experimentations (Gopnik et al., 2004). Though most studies on scientific reasoning are conducted in a lab context rather than in a naturalistic setting (Haden, 2010), social factors are always present, influencing the reasoning process (Crowley et al., 2001; Mercer, Dawes, Wegerif, & Sams, 2004). For instance, collaboration enables children to integrate points of view (Fawcett & Garton, 2005), re-elaborating ideas in learning contexts (Mercer, 1996; cited by Thurston et al., 2007). Therefore, studying the interaction process helps us understand how cognitive processes occur in real-life contexts (Granott, Fischer, & Parziale, 2002).

Interaction and scientific reasoning

In the last three decades, psychological studies have shown children's striking cognitive skills from early development onwards (Gopnik, 2012). From the first two years of life onwards, children display complex cognitive skills (e.g., elaboration of descriptions, predictions, inferences, hypothesis and explanations, activities of exploration, experimentation and control of variables). In this regard, the use of SRS constitutes the basis of learning processes (Kuhn, 2004; Zimmerman, 2000). The scientific skills take place in the constant interactions between the individual and the context (see Overton, 2014) and work as 'knowledge seeking', enabling people to organize and understand their experiences (Kuhn, 2002). However, these higher order psychological processes are not only the result of the individual cognitive skills, but also of social interactions (Melander, 2012; Rojas-Drummond, 2009; Vygotsky, 1986). As a result, the educational method of peer learning has been studied from different approaches, using terms such as 'peer tutoring', 'peer assessment' or 'collaborative learning' (Riese, Samara, & Lillejord, 2012). It has been recognized that interactions between children or groups promotes the use of complex thinking skills (Rogoff, 2003), and that effective learning happens during: (1) active engagement with others; (2) group interactions; (3) constant feedback; and (4) relations with the real world (Roschelle, Pea, Hoadley, Gordin, & Means, 2000). Interactions can therefore offer an understanding of children's thinking in relation to their interpersonal and contextual factors (Robbins, 2005).

In addition, the use of problem-solving strategies during collaborative learning is analysed with various purposes, for instance, to identify the

abstraction of rules (Howe, Tolmie, Greer, & Mackenzie, 1995) and the impact of expertise and the levels of reasoning during collaboration (Gijlers, Saab, Van Joolingen, De Jong, & van Hout-Wolters, 2009; Nokes-Malach, Meade, & Morrow, 2012). Previous studies have revealed some characteristics of dyadic interactions of preschoolers during problem solving. Whereas preschool children are generally able to coordinate interactions in order to complete different tasks (Holmes, 1997), five-year-olds are more likely to collaborate than three-year-olds (Cooper, 1980). In addition, preschoolers have difficulty delegating tasks and prioritizing actions (Perret-Clermont, 1980). And finally, in comparison with older children, the benefit of interactions in preschoolers seems to be restricted because they produce fewer explanations when working together (Azmitia, 1988; Gauvain & Rogoff, 1989).

With regard to children's interactions, several studies have focused on particular aspects of the interactions without an interactional frame, such as the type of talk, distribution and proportion of utterances, or the use of words related to the reasoning process. Although this information is relevant, it is not sufficient to understand the dynamics of peer interactions and how it is related to the emergence of reasoning skills (Staarman & Krol, 2005). Therefore, in this study we analyse how peer interaction evolves and changes over time during a problem-solving task.

Microdevelopmental analysis

A microdevelopmental analysis aims to describe the process of change in individual trajectories (Siegler & Crowley, 1991) and to identify the emergence of patterns on a short-term time scale (Yang & Fischer, 2007). The dynamics of micro (learning) and macro (development) changes are conceived as interconnected elements that influence each other (Flynn & Sielger, 2007; Kuhn & Franklin, 2006). Microgenetic analyses have been applied to study children's performance in various learning situations. For example, microgenetic analysis on the balance scale task has revealed that at least four aspects are involved in this learning process (Siegler & Chen, 2002): (1) noticing the task variables; (2) formulating a rule that integrates the variables (i.e., distance and weight); (3) generalization of the rule to new situations in a consistent way; and (4) maintaining the use of the new rule on later presentations of the task. It has been shown that most four-year olds have difficulties noticing the relevance of the variable 'distance', while most five-year olds are able to integrate it as part of their task solution (Siegler & Chen, 2002). Another example of a microgenetic study with the balance scale task is the one conducted by Philips and Tolmie (2007). These authors have analysed the influence of parent-child interactions on children's comprehension of the task. The findings indicated that children who received support from their parents used fewer attempts to solve the balance scale in comparison with children who did not get any assistance. Specifically, parental explanations lead to improvements of children's performance. In addition, Druyan (2001) found that the condition that leads preschoolers, working in a dyad, to

obtain a higher level of performance is kinesthetic conflict generated by the balance scale more than the social conflict of their interactions.

Because social interaction is a fundamental aspect of reasoning, it is important to examine how social interaction and reasoning are related in real time. For this reason, our study will be focusing on this relationship within a problem-solving context.

Aims of this study

The purpose of this article is to capture the short-term dynamics of peer interaction and scientific reasoning of preschoolers during a problem-solving task. As a result, this study illustrates the intra- and inter-individual trajectories of the co-occurring processes — interaction and reasoning — in a single session by using techniques that highlight the temporal changes and patterns of behaviours. Although previous studies have been done at the group level to model learning in the balance scale task (see Jansen, Raijmakers, & Visser, 2007; Schmittmann, Visser, & Raijmakers, 2006), this study takes a different approach. Here, the emphasis is not on the content of the task, but on the processes of reasoning and interaction from moment to moment.

This study is part of a larger research project in the Netherlands — Curious Minds — interested in the dynamics of children's reasoning and how they build knowledge during science activities, more often during adult-child interactions (e.g., Meindertsma, van Dijk, & van Geert, 2013; van der Steen, Steenbeek, van Dijk, & van Geert, 2013). Therefore, in this study, our question is centred on peer interaction and reasoning, as follows: *How do changes in interaction and scientific reasoning of preschool dyads relate to each other within the short-term time scale of a single problem-solving task?* In order to answer this question, we carried out an in-depth analysis of the behaviour of two dyads to illustrate the dynamics of peer interaction.

Method

Participants

The participants selected from a bigger sample of preschoolers (13 dyads), were two dyads, Willie and Tyler (6.6 and 6.8 years old) and John and Ivan (4.2 and 4.5 years old)¹. In principle, any of the dyads could have been selected to illustrate trajectories — and patterns — of interaction and SRS, because the study has a variability frame and does not aim to make generalizations to other children or a population. However, we chose dyads that clearly present a differentiated performance in terms of interaction and reasoning. All dyads participated in the study with the consent of their parents and all were students at an international school in the Netherlands. Being fluent in English was a precondition to join this study. The dyads were formed by two children from the same classroom who were comfortable working together according to their teacher. The preschool age was selected because previous research has indicated that most children are able to use early SRS around this age (see Zimmerman, 2000).

Figure 1. The balance scale task.

Materials

As in previous studies on reasoning (e.g., Shultz, Mareschal, & Schmidt, 1994; Siegler & Chen, 1998), we used a horizontal balance scale task (see Figure 1). The task consists of rectangular weights to be hung on it and 10 pegs in each beam. Above the pegs a specific perceptual clue (i.e., geometrical figures) is provided to distinguish the pegs within the same distance from the fulcrum.

Procedure

The researcher administered the balance task to each dyad in a separate room of the school. The session with each dyad (15 to 20 minutes) was videotaped. The children were asked to work together in order to solve seven balance scale problems (Siegler & Chen, 1998) of average difficulty for the children. There were two ‘balance’ items (equal number of weights, same distance to the fulcrum), two ‘weight’ items (unequal number of weights, same distance) and three ‘distance’ items (equal number of weights, different distance). The items were presented in the same order, requiring the use of SRS as follows: first, the children were asked to *predict* what would happen in a particular arrangement of weights, whether the scale would tilt to one of the sides or would remain straight. After the children hung the weights, they were asked to give *descriptions* and *explanations*. Finally, for the non-balance items, children were asked to use an extra weight to find the balance. In summary, the SRS were captured through the children’s verbalizations, answering the protocol of giving predictions, descriptions and explanations about the balance scale task. The items used in this study required the use of Rule I (number of weights) and Rule II (distance from the fulcrum when the number of weights is the same) in order to predict the correct direction of tilt problems focusing on the side with more weights (Siegler, Strauss, & Levin, 1981). Children using these rules can succeed at weight and distance problems.

Coding system

Two coding schemes were used to code each behaviour of interaction and reasoning. The *coding scheme of interaction* involves the criterion of ‘engagement’ shown by each child of the dyad, such as (a) being engaged with the task and/or (b) with the peer. Therefore, the interaction is seen as a function of the task, in which the dimension of engagement represents the degree of involvement of each child with the task and with their peer. As a result, based on the literature (Robinson, Anderson, Porter, Hart, & Wouden-Miller, 2003; Storch, 2002) and on the observed behaviours of the bigger sample of dyads, five categories of children’s interactions during problem solving were identified. Interaction behaviours were coded for each child according to the relation with his/her partner and task behaviour (see Figure 2 and Table 1). Only one of the five categories (no work) is independent from the interaction of the other member of the dyad.

Based on previous studies of interactions (see Fischer & Bidell, 2006; Meindertsma, van Dijk, Steenbeek, & van Geert, 2012; van der Steen, Steenbeek, & van Geert, 2012), we ranked the resulting five categories of interaction on an ordinal scale, with values from 0 to 4, according to the complexity of children’s interactions. Regarding the *coding scheme of SRS*, the children’s

Figure 2. Types of peer interaction. See the role of child A in relation to the child B and the goal of the task.

Table 1. Interaction coding scheme.

Category	Score	Description and example of interaction events
No work	0	No engagement with the task or the partner. The child does not participate on the task because he/she is distracted or goes away.
Passive work	1	Engagement with the task without participating actively. The child remains attentive, while his/her partner works on the task.
Imitative work	2	Engagement with the task, imitating their partner’s behaviour. The child imitates the behaviour of his/her partner.
Parallel work	3	Engagement with the task without considering their partner’s view. Both children work at the same time on the task, but independently.
Collaborative work	4	Engagement with the task by considering their partner’s view. Both children work at the same time on the task in a collaborative way.

verbalizations during the task were characterized and ranked on an ordinal scale with values from 0 to 4 according to their complexity (see Table 2). We coded explanations as being a more complex skill than predictions because in the context of the study, the elaboration of explanations is based on implicit causal relations (i.e., distance and weight). In contrast, the elaboration of predictions was constrained by the protocol of the task because the children were asked whether the balance scale would tilt or not.

In both coding schemes (interaction and SRS), the translation from categories to values was used to facilitate the visualization and analysis of the dyadic trajectories observed in the short term. All behaviours were coded as ‘events’. This means that when a child shifts from one type of interaction or reasoning to another, a new event is coded for that child in the respective variable. We coded the type of SRS (verbalizations) and simultaneously the type of interaction that co-occurred for each child and repeated the procedure at the same point in time for the other child of the dyad. Every time a child changed a behaviour, a code for interaction and SRS was inserted for their peer, ensuring that the children of the dyad have the same number of simultaneously coded events (behaviours) in both variables. Thus, the length of the trajectories of the dyadic interaction and reasoning varied between dyads according to the respective number of changes in the observed behaviours. For instance, Willie and Tyler presented 44 events of interaction and reasoning, while there were 17 events for John and Ivan (Table 2).

To determine inter-observer reliability, two raters (the first and second authors of this paper) independently coded the behaviours of the two dyads (total of 61 events of interactions and SRS). For the category of interaction, the inter-observer agreement was of 89% with a Kappa of .83 (almost perfect agreement). In the case of the SRS the inter-observer agreement was of 93% with a Kappa of .91 (almost perfect agreement).

Table 2. Scientific reasoning coding scheme.

Category	Score	Description	Example of reasoning events
No answer	0	The child does not answer the questions about the task.	—
Other verbalizations	1	The child provides verbalizations that do not make explicit his/her reasoning about the task.	‘Yeah!’, ‘I do it!’, ‘This — pointing the task’
Description	2	The child indicates perceptual elements of the task.	‘This is more’
Prediction	3	The child indicates what would happen if some cards are hung on the balance scale.	‘This will be tilted’
Explanation	4	The child indicates reasons about the effect of hanging cards on the balance scale.	‘This side is heavier because it is at the end [fulcrum]’

Data analysis

We present different quantitative techniques to depict the microdevelopmental trajectories (i.e., path of behaviours) of interaction and reasoning of the dyads while solving the balance scale problems. We contrast the general statistics about children's types of interactions and SRS to an analytic approach focused on the variability. To do so, we zoom in on the temporal relation of the dyads by applying three techniques. The purpose of the techniques is to visualize and characterize the changes in children's moment-to-moment interactions and reasoning skills, as follows: (a) The Time-series graphs enable us to track the variability moment to moment, showing how interactions and SRS are tuned as intra- (within) and inter- (between) individual trajectories. In this technique a change in frequency of the trajectory refers to a change in the level of the variable (van Geert & van Dijk, 2002). Furthermore, a time-series graph of the dyadic interactions of both children is presented to explore whether the children's interactions are related through time, or not. Complementarily, a simple Spearman correlation is used to test statistical associations between the trajectories of interactions and/or SRS; (b) The Transition matrices describe transition sequences of each child from one type of interaction to another; (c) The Hybrid Hierarchical Agglomerative Clustering (HAC) is used to identify similarities across time based on the co-occurrence of the time series of interactions and SRS of each dyad separately.

Time-series graphs

This technique visualizes the trajectories of behaviours in a temporal frame. This is performed in a simple spreadsheet, with a timeline in the first column (e.g., events, seconds, minutes), followed by two columns with the sequence of interactions and SRS (coded events) respectively. These data are plotted in an XY graph (see Figures 4 and 5). The graphs show the sequence of behaviours represented with measurement points on the x-axis (number of events observed in the single session), while the y-axis corresponds to the level of the behaviour (values 0 to 4).

Transition matrix technique

We construct diagrams that represent the conditional probabilities of moving from one state to another (like a Markov chain) (Grinstead & Laurie Snell, 1997). We used this technique to obtain additional information about the changes of interactions over time. The procedure consists of creating a crosstab in which all the possible combinations of behaviours and their relative occurrences are listed. To elaborate the respective diagrams, we transformed the frequencies of the transitions into percentages, showing the proportion of changes over the total of behaviours. The arrows in the diagrams indicate the direction of the transitions from one type of interaction to another.

Hierarchical Clustering Analysis (HAC)

This technique consists of grouping or clustering observations based on their similarities. The result is a tree diagram (dendrogram) grouping data in a bottom-up distribution. The optimal number of clusters is the one with the maximal contrast between internal homogeneity and external heterogeneity (Roy, 2010). We implemented a variation of the hierarchical cluster analysis, a hybrid procedure called Hierarchical Agglomerative Clustering (HAC), combined with a principal component analysis (principal component analysis) in order to specify the nature of the clusters. This is a two-step clustering algorithm helpful to identify the optimal number of clusters. The first step includes a fast clustering by K-means method to build low-level clusters. Second, the HAC uses these clusters to build a tree diagram indicating the best partitioning or number of clusters. Once the clusters are defined, the similarities of the internal cases are used to interpret them.

The HAC is based on the codes used to create the time-series graphs. The variable labels might be in the first row and their respective data in the columns. The first column corresponds to the timeline of the data points (e.g., 1, 2, 3 . . .). As a result, we created columns with a sequence of data as follows: number of data points (i.e., events) and data of interactions and SRS for each member of the dyad (see Table 3). Once the data were arranged, we implemented the HAC using TANAGRA 1.4.48 (Rakotomalala, 2005), a free data-mining software. In our study, the HAC hybrid clustering is used to detect clusters in the dyadic trajectories of interactions and SRS. The analysis complements the time-serial analysis in the sense that it describes the structure of the latent variables across time. Tables 4 and 5 show the clusters identified for both dyads by presenting the percentage of observations that are part of each cluster. Later, principal complement analysis was carried out with the obtained clusters in order to rank the latent variables inside each cluster. The *test value* is the resulting measure of the principal component analysis that shows how much each variable contributes to the cluster. This estimation is based according to how high (> 1) or low (< -1) the latent variables are proportional to the total latent variables of the

Table 3. Example of the arrangement of the time-series data to run the HAC.

Data Point (# Events)	Interaction		SRS	
	Child 1	Child 2	Child 1	Child 2
1	3	3	4	1
2	3	3	2	2
3	3	3	3	3
4	3	3	3	3
...	...	...	...	...
17	...	...	...	...
...	...	...	...	...
44	...	...	...	...

Note: The codes correspond to the types of interaction and SRS defined in the coding schemas. Each member of the dyad is indicated in the time-series. C1 = Child 1, C2 = Child 2.

cluster (Lebart, Morineau, & Piron, 2000). Therefore, the test value ranks the latent variables given their relevance. Positive values refer to the variables in the cluster that are significantly higher than the average over the entire sample, and negative values refer to those variables that are significantly lower than the average over the entire sample of observations. In summary, the test value provides a cluster structure with the optimal fit (group comparison), instead of a *p* value.

Results

Individual differences in terms of averages

A standard way to describe psychological processes is by their aggregated quantification over time, sometimes followed by the association with other aggregate measures, such as age, gender and condition (experimental versus control group). Following this approach, Figure 3 shows the percentages of the types of interactions and SRS per

Figure 3. Percentage of the scientific reasoning skills (SRS) and types of interaction used by the two dyads while solving the balance scale task.

child, indicating differences between children and dyads. For example, the interaction of Willie and Tyler was characterized by an asymmetric relationship: Willie predominantly showed parallel work (66%), while Tyler fluctuated between passive (39%) and parallel (34%) work. In contrast, John and Ivan showed a symmetric relationship: both children contributed approximately equally to the parallel work (76% and 82% respectively). Despite the asymmetric relationship of Willie and Tyler, collaborative work appeared in 27% of the observed events, while for John and Ivan, this type of interaction does not appear.

With regard to the use of SRS, Willie displayed more explanations (36%) and descriptions (14%) than his partner (5%) but the same amount of predictions (both 25%). In contrast, John and Ivan showed a more homogeneous performance with high proportion of predictions (41% and 53%, respectively) and low proportion of explanations (16% and 6%, respectively) and descriptions (18% and 12%, respectively). In the next sections we present a process analysis to examine the complexity of the ongoing interactions that are not visible in the current global analysis (see Figure 3).

Intra- and inter-individual trajectories analysed by using time-series

The time-series graphs in Figure 4 depict the changes in the intra-individual trajectories of interaction during a single task session, showing that both the interactions and SRS were fluctuating over time. For instance, Willie showed the use of predictions and explanations (see observations 16 to 25) mainly during parallel and collaborative interactions. In contrast to Willie, the variability of Tyler's performances was initially characterized by the use of predictions during parallel and collaborative work (see observations 1 to 35) and parallel and passive work (see observations 36 until the end). In addition, his only two explanations appeared during collaborative work. In contrast to this dyad, John's and Ivan's performances were more regular and homogeneous. They showed parallel work during the elaboration of predictions and descriptions and sporadic explanations were given during parallel work instead of collaboration as in the dyad of Willie and Tyler.

Complementarily, using a Spearman correlation for the intra-individual trajectories (ordinal scale 0 to 4), we examined if the SRS were related to the interactions of the dyads. We found a high positive correlation between interactions and SRS ($r_s(42) = .563, p < .001$) for Tyler, whereas for Willie there was no correlation $r_s(42) = -.030, p = .849$. A high positive correlation between SRS and interactions was found at the individual level for John ($r_s(15) = .709, p < .001$) and Ivan ($r_s(15) = .640, p < .01$). This indicates that higher levels of reasoning occur during higher levels of dyadic involvement.

In summary, the trajectories of SRS and interactions revealed highly variable interactions for Willie and Tyler and more homogeneity in the case of John and Ivan. In addition, each child showed diverse relations between types of interactions and SRS (e.g., elaboration of explanations during parallel and/or collaborative work), and for three out of four children (Willie, John and Ivan), the interactions correlated with their use of SRS.

John and Ivan

Willie and Tyler

Figure 4. Individual trajectories of interaction and SRS of Willie (W), Tyler (T), John (J) and Ivan (I). Trajectories of SRS (see continuous line) take values from 0 to 4 according to their respective categories: No answer (0), others (1), Descriptions (2), Predictions (3) and Explanations (4). Trajectories of interaction (dashed line) take values from 0 to 4 according to their respective categories: No work (0), Passive work (1), Imitative work (2), Parallel work (3) and Collaborative work (4).

Figure 5. Inter-individual trajectories of dyadic interaction: Willie-Tyler (5a) and John-Ivan (5b). *Trajectories of interaction take values from 0 to 4 according to their respective categories: No work (0), Passive work (1), Imitative work (2), Parallel work (3) and Collaborative work (4).*

Short-term dynamics of dyadic interactions by using a time-series analysis

The time-series technique can also be applied to the interaction behaviours by plotting trajectories of both children in one graph. In Figure 5, the inter-individual trajectories of the dyads show moments of synchrony or simultaneous occurrence of interactions (parallel work) while problem solving. Willie and Tyler showed synchrony in part of their trajectories (see observations 35 to 44) with an overall high positive correlation ($r_s(42) = .687, p < .001$). This indicates a high connection in the peer interactions. It seems that each child follows a particular pattern in his interaction while trying to remain synchronized with the other child. For instance, when Willie displays parallel work, Tyler displays passive and parallel work, keeping this association almost until the end of the trajectory (observation 35).

John's and Ivan's trajectories revealed a different dynamic of interaction which included considerable repetitions in their types of interactions, and rapid shifts from one type of interaction to another (see observations 1 to 10 and 11 to 17). John showed a pattern consisting of regular shifts from a stable type of interaction (parallel work) to a variety of types of interactions (i.e., parallel, no-work, passive and parallel work). Simultaneously, Ivan shifts his interactions in the opposite way, by moving from irregular fluctuations (parallel, passive and imitative work)

to a stable interaction (parallel work). A Spearman correlation revealed a weak and non-significant statistical association between John’s and Ivan’s interaction styles at the real time level ($r_s(17) = -.253, p = .326$).

In general, we found that the dyads have very different interaction patterns. One is characterized by a strong connection which seems to be related to the reciprocity of collaborative work (Willie and Tyler), while the other (John and Ivan) dyadic trajectory is more independent without showing a clear coupling between the children’s behaviours.

Summarizing the individual changes between interactions by using transition matrices

In Figure 6, given all the shifts between interactions, we will describe the main paths that add up to approximately 80% of the transitions. In the dyad of Willie and Tyler, Willie presented a total of seven interaction paths, four of which cover the great majority of transitions based on parallel and collaborative work, as follows: *parallel-parallel* (49%), *parallel-collaborative* (14%) and *collaborative-collaborative* (14%). In contrast, Tyler showed a wide variety of transitions, presenting nine paths based on three types of interactions (i.e., passive, parallel and passive work). Tyler’s main five interaction paths were: *passive-passive* (21%), *passive-parallel* (14%), *parallel-passive* (12%), *parallel-collaborative* (12%) and *collaborative-collaborative* (12%). In the dyad of John and Ivan, John presented a total of three interaction paths consisting

Figure 6. Individual transition diagrams of interaction for each member of the dyad.

of parallel and passive work. John's main transition path was *parallel-parallel* (67%). His partner, Ivan, showed transitions between three types of interactions (i.e., passive, parallel and imitative work), resulting in five interaction paths, of which the following three were the most common: *parallel-parallel* (63%), *parallel-passive* (13%) and *passive-parallel* (13%).

In summary, the transition matrices revealed individual differences in the transitions of children's interactions.

Looking for similarities in the dyads' trajectories by using the hac-hybrid clustering

For Willie and Tyler, the results of the combined HAC and the respective principal component analysis characterized their trajectories of interaction and SRS into three clusters (Table 4). Two strong clusters (1 and 2) contain, respectively, 50% and 43% of all the observations, with a third cluster that contains around 7% of the observations. Cluster 1 is characterized by high levels of SRS and interactions (Tyler) with a high interaction and low reasoning (Willie). Cluster 2 corresponds to moments of high (Willie) and low levels (Tyler) of SRS with low values of interaction for the dyad. Cluster 3 consists of moments where the trajectories of the dyad present relatively low levels of SRS and interaction (Willie) with high levels of SRS (Tyler). This clustering pattern reveals the alternation of the dyad: while one child presents high values of SRS and interaction, his partner tends to remain relatively passive, displaying low values of SRS and interaction.

In the case of John and Ivan, three clusters with a different structure were identified (see Table 5). Cluster 1 contains more than half of the observations (60%) whereas clusters 2 and 3 contain a small proportion (23.5% and 17.6%, respectively). Cluster 1 shows relatively high levels of interaction and moderate to low levels of SRS for both John and Ivan. Cluster 2 shows moderately low levels (Ivan) and very low levels (John) of SRS and interaction, while Cluster 3 shows low levels of SRS (Ivan) and interaction (John and Ivan) with moderate levels of SRS (John). Here, the clustering pattern showed a coupling behaviour between children instead of alternation: both children presented similar levels of interaction and SRS.

In summary, the clusters identified the principal relations between the trajectories of the dyads. For instance, at certain moments the children presented a similar level of interaction and SRS (e.g., clusters 1 and 3 — John and Ivan's dyad) while in other moments, a child presented an opposite level of behaviour than his partner (e.g., cluster 1 — Willie and Tyler's dyad), or the child presents a combination of matching the same level as his partner for one behaviour but not for the other (e.g., cluster 2 — Willie and Tyler's dyad).

Discussion

In this study, we have analysed the behavioural data of two preschool dyads and described their interactions and scientific reasoning in the short-term scale of a single problem-solving session. This approach aimed to show the dynamic

Table 4. HAC analysis of the dyad Willie and Tyler.

Cluster 1				Cluster 2				Cluster 3									
Observations [50.0%] <i>n</i> = 22				Observations [43.2%] <i>n</i> = 19				Observations [6.8%] <i>n</i> = 3									
Variable	Test		Overall	Test		Overall	Variable	Test		Overall	Variable	Test		Overall			
	Value	Mean	(SD)	Value	Mean	(SD)		Value	Mean	(SD)		Value	Mean	(SD)			
INT-T	5.41	3.55	(0.51)	2.50	(1.27)	SRS-W	4.14	3.63	(0.60)	2.50	(1.56)	SRS-T	1.1	2.00	(1.73)	1.11	(1.43)
SRS-T	3.85	1.95	(1.40)	1.11	(1.43)	INT-W	-1.06	3.00	(0.00)	3.14	(0.73)	INT-T	0.7	3.00	(0.00)	2.50	(1.27)
INT-W	3.65	3.55	(0.51)	3.14	(0.73)	SRS-T	-4.44	0.00	(0.00)	1.11	(1.43)	SRS-W	-2.84	0.00	(0.00)	2.50	(1.56)
SRS-W	-2.67	1.86	(1.49)	2.50	(1.56)	INT-T	-5.82	1.21	(0.63)	2.50	(1.27)	INT-W	-5.16	1.00	(0.00)	3.14	(0.73)

Note: SRS = Scientific Reasoning Skills, INT = Interaction, W = Willie, T = Tyler.

Table 5. HAC analysis of the dyad John and Ivan.

Cluster 1				Cluster 2				Cluster 3						
Observations [58.8%] $n = 10$				Observations [23.5%] $n = 4$				Observations [17.6%] $n = 3$						
Variable	Test	Group	Overall	Test	Group	Overall	Variable	Test	Group	Overall	Variable	Test	Group	Overall
	Value	Mean	Mean	Value	Mean	Mean		Value	Mean	Mean		Value	Mean	Mean
	(SD)	(SD)	(SD)	(SD)	(SD)	(SD)		(SD)	(SD)	(SD)		(SD)	(SD)	(SD)
INT-J	2.51	3.00 (0.00)	2.41 (1.12)	INT-I	0.95	3.00 (0.00)	2.71 (0.69)	SRS-J	1.13	3.00 (1.00)	2.35 (1.06)			
INT-I	2.05	3.00 (0.00)	2.71 (0.69)	SRS-I	0.41	2.50 (1.00)	2.29 (1.10)	INT-J	0.97	3.00 (0.00)	2.41 (1.12)			
SRS-I	1.76	2.70 (0.82)	2.29 (1.10)	SRS-J	-2.84	1.00 (0.00)	2.35 (1.06)	SRS-I	-2.73	0.67 (0.58)	2.29 (1.10)			
SRS-J	1.57	2.70 (0.82)	2.35 (1.06)	INT-J	-3.78	0.50 (0.58)	2.41 (1.12)	INT-I	-3.7	1.33 (0.58)	2.71 (0.69)			

Note: SRS = Scientific Reasoning Skills, INT = Interaction, J = John, I = Ivan.

patterns of co-occurring behaviours. We have zoomed in on the micro timescale of children's behaviour, showing their moment-to-moment variability. These process-oriented analyses provide insights about the transactions of behaviour in real time. For instance, the short-term analysis showed the existence of two patterns of dyadic interactions (connected and independent) revealing the presence of different levels of coupling behaviours in the two dyads. For the SRS, we found that the dyad presenting a tight coupling (connected) showed higher variability in the use of SRS, while the dyad in which the coupling behaviour was not clearly identified presented an homogeneous performance in the use of SRS. However, the intra-individual trajectories showed that the children presented their own pattern inbetween the types of interaction and SRS. The intra- and inter-individual trajectories show that the patterns of interaction and SRS of the dyads are idiosyncratic (Molenaar & Campbell, 2009). The evidence from the transition diagrams, the hierarchical cluster analysis and the time serial correlations showed that the differences between the two dyads are of a qualitative nature. Although some dyads can present the same amount of interactions and SRS, their trajectories have variations in their temporal emergence and the qualitative nature of their interactions. There may be various causes for the differences between the two dyads, such as differences in extraversion of the participating children or the fact that one dyad was older than the other. However, the focus of this study was on providing a detailed description of the interaction patterns and not on determining the origin of these differences.

The value of the techniques that were used in this paper lies in approaching processes in real time, characterizing the variable nature of microdevelopment with microgenetic observations that enable researchers to reveal the emergence of patterns that otherwise would remain unnoticed. Therefore, the contribution of these techniques to the toolkit of the developmental psychologist is that they offer temporal analysis that integrates qualitative variables (in this case interactions and SRS). A limitation of this study is that the analyses are based on ordinal categories. However, the contribution for future studies lies in the fact that repeated measures, as have been used here, can be included in multivariate analyses with bigger samples, doing greater justice to the richness of the variability and dynamic of the underlying processes. Moreover, the quantitative nature of the individual cases allows us to test the differences within and between persons statistically, for instance by means of permutation techniques (see van Geert, Steenbeek, & Kunnen, 2012). The techniques can be applied to diverse datasets, from a micro or macro perspective, and complement the use of content analysis. Although we still need a sufficient number of individual case studies for making generalizations at the population level (Molenaar & Campbell, 2009), our findings are very appropriate for addressing developmental questions such as: 'how do dyadic interaction patterns support learning process or the emergence of particular reasoning skills?' and 'what do dyadic interactions look like in real time during learning activities?' In addition, researchers should take into consideration that if development is in fact highly idiosyncratic, as we have argued above, group averages do not reflect the (majority of) the population. Future researchers can combine the described techniques with State Space Grids

(SSG), a dynamic systems technique (e.g., Hollenstein, 2013) to identify possible dyadic patterns in longer trajectories of interactions and the connection between short-term and long-term patterns (e.g., van Dijk, Hunnius, & van Geert, 2012).

Regarding educational implications, our findings on the quantitatively different patterns between dyads support the idea that we must be aware that the gains of knowledge during dyadic interactions can take different forms. Moreover, it is important to recognize that the individual variations are not random but constitute patterns that can be similar between groups of individuals. For future research, it is important to relate the short-term patterns of interaction and reasoning with long-term development. For instance, this relationship can be used to investigate whether one type of interaction is related to a complex type of SRS or whether dyads of children solving problems present a predominant pattern of dyadic interaction in the long term. In addition, it is important to know how the children's interaction as a dyad changes over time in terms of their contribution to solving the tasks. The integration of these microanalyses with more global measures of change is important to get a better understanding of the interaction and reasoning processes at different levels of social interaction (e.g., parent-child, teacher-child, small groups) in natural contexts of learning and development (e.g., Cox & van Dijk, 2013; Kupers, van Dijk, & van Geert, 2015).

Note

1. The names have been changed to protect the anonymity of the children.

Microdesarrollo de la interacción entre pares y el razonamiento científico en niños pequeños

Aunque la mayoría de las investigaciones sobre el aprendizaje y el desarrollo infantil está basada en análisis grupales y medidas únicas, existe un interés creciente en los estudios de caso que describen los procesos individuales que tienen lugar a corto plazo (Granott & Parziale, 2002). A este respecto, Molenaar and Campbell (2009) sugirieron el uso de análisis intra-individuales como un ‘nuevo paradigma individual en psicología’ (p. 112). La base de este enfoque radica en que los procesos psicológicos no son ni homogéneos ni estáticos (dos características conocidas como principios ergódicos). Por el contrario, se caracterizan por una gran variabilidad entre sujetos y cambios momento a momento. Esta ausencia de ergodicidad hace necesario que los estudios psicológicos no generalicen los resultados grupales al nivel de variación individual. Molenaar (2010) sostiene que es necesario estudiar la variación intra-individual con el fin de obtener información válida sobre los procesos de desarrollo. De un modo similar, Salvatore and Valsiner (2009) describen la psicología como una ciencia idiográfica y defienden que los casos individuales ofrecen información sobre los fenómenos psicológicos al mostrar cómo los procesos tienen lugar en un contexto específico. Por lo que respecta a la relevancia de la variabilidad individual, Kuhn, Garcia-Mila, Zohar, y Andersen (1995) reconocen la existencia de diferencias individuales argumentando que ‘al menos parte de la variabilidad en el desempeño en diferentes contenidos reside en el sujeto y no solo exclusivamente a la tarea’ (p. vi).

Los investigadores del desarrollo que adoptan el enfoque de sistemas dinámicos complejos, han adoptado también un enfoque idiográfico, centrado en la persona, al utilizar métodos que capturan la naturaleza no-lineal y dinámica de los procesos psicológicos. Por tanto, desde el enfoque dinámico, se suelen usar diseños experimentales con un número reducido de participantes, pero con una extensa recolección de medidas repetidas en periodos amplios de tiempo (Nesselroade & Molenaar, 2010). En estos estudios, la varianza intra-individual es la principal fuente de información. Siguiendo este enfoque idiográfico, utilizamos diversas técnicas (e.g., gráficos de series de tiempo, matrices de transición y análisis de agrupación jerárquica aglomerativa) que capturan los cambios a corto plazo en conjuntos de datos con medidas repetidas. En este estudio, los comportamientos a examinar, son las interacciones y las habilidades de razonamiento científico de niños en edad preescolar trabajando en diadas.

En la literatura, la interacción diádica se ha considerado relevante en el desarrollo temprano de funciones sociales como la reciprocidad y la capacidad de comunicación (véase Williams, Ontai, & Mastergeorge, 2010) y para la

construcción del conocimiento (véase Doise, Mugny, & Perret-Clermont, 1976; Gopnik, 2012; Rojas-Drummond, 2009). Por ejemplo, Srinivas (2011) indica que el aprendizaje colaborativo contribuye a desarrollar habilidades sociales y cognitivas tales como altos niveles de razonamiento, empatía, interacción, familiaridad entre estudiantes y autoestima.

En relación con el desarrollo de las habilidades de razonamiento científico, parte de la literatura evidencia cómo niños de tres años en adelante son capaces de formular hipótesis, elaborar descripciones, predicciones, explicaciones, inferencias causales y experimentaciones (Gopnik et al., 2004). Aunque la mayoría de los estudios sobre razonamiento científico se realizan en condiciones de laboratorio y no en un entorno natural (Haden, 2010), los factores sociales siempre están presentes, influenciando el proceso de razonamiento (Crowley et al., 2001; Mercer, Dawes, Wegerif, & Sams, 2004). Por ejemplo, la colaboración permite a los niños integrar diferentes puntos de vista (Fawcett & Garton, 2005) y reelaborar ideas en contextos de aprendizaje (Mercer, 1996; c.p. Thurston et al., 2007). Por tanto, el estudio de los procesos de interacción ayuda a comprender cómo los procesos cognitivos tienen lugar en contextos de la vida cotidiana (Granott, Fischer, & Parziale, 2002).

Interacción y razonamiento científico

En las tres últimas décadas, estudios psicológicos han revelado sorprendentes habilidades cognitivas desde el desarrollo temprano en adelante (Gopnik, 2012). A partir de los dos primeros años de vida, los niños muestran habilidades cognitivas complejas (e.g., la elaboración de descripciones, predicciones, inferencias, hipótesis y explicaciones, actividades de exploración, experimentación y control de variables). En este sentido, el uso de habilidades de razonamiento científico constituye la base de los procesos de aprendizaje (Kuhn, 2004; Zimmerman, 2000). Las habilidades científicas se desarrollan en las interacciones constantes entre el individuo y el contexto (véase Overton, 2014) y funcionan como ‘buscadores de conocimiento’, permitiendo a las personas organizar y comprender sus experiencias (Kuhn, 2002). No obstante, estos procesos psicológicos de orden superior no solo son el resultado de las habilidades cognitivas individuales, sino también de las interacciones sociales (Melander, 2012; Rojas-Drummond, 2009; Vygotsky, 1986). En consecuencia, el método educativo del aprendizaje entre pares ha sido estudiado con distintos enfoques, utilizando términos como ‘tutelaje entre pares’, ‘evaluación entre pares’ o aprendizaje colaborativo (Riese, Samara, & Lillejord, 2012). Se ha reconocido que las interacciones entre niños o grupos de niños promueven el uso de razonamientos complejos (Rogoff, 2003), y que el aprendizaje efectivo sucede durante: (1) la participación activa con los demás; (2) las interacciones en grupo; (3) la retroalimentación constante; y (4) la relación con el mundo real (Roschelle, Pea, Hoadley, Gordin, & Means, 2000). Las interacciones, por tanto, pueden ayudar a comprender el pensamiento infantil en relación con factores interpersonales y contextuales (Robbins, 2005).

Además, se ha analizado el uso de estrategias de resolución de problemas durante el aprendizaje colaborativo por diversos propósitos; por ejemplo, para identificar la abstracción de normas (Howe, Tolmie, Greer, & Mackenzie, 1995), el impacto de la

experiencia y los niveles de razonamiento durante la colaboración (Gijlers, Saab, Van Joolingen, De Jong, & van Hout-Wolters, 2009; Nokes-Malach, Meade, & Morrow, 2012). Estudios previos han revelado algunas características de las interacciones diádicas de preescolares durante tareas de resolución de problemas: mientras que niños preescolares, por lo general son capaces de coordinar interacciones para completar distintas tareas (Holmes, 1997), niños de cinco años muestran mayor tendencia a colaborar que los niños de tres años (Cooper, 1980). Adicionalmente, los preescolares tienen dificultad en delegar tareas y priorizar acciones (Perret-Clermont, 1980). Por último, en comparación con niños mayores, los beneficios de las interacciones entre preescolares parecen estar limitados porque estos últimos producen pocas explicaciones cuando trabajan en colaboración (Azmitia, 1988; Gauvain & Rogoff, 1989).

Por lo que respecta a las interacciones infantiles, diversos estudios se han centrado en aspectos particulares de las interacciones sin un marco de interacción como, por ejemplo, el tipo de conversación, la distribución y proporción de las frases, o el uso de palabras relacionadas con el proceso de razonamiento. Si bien esta información es relevante, no es suficiente para comprender la dinámica de las interacciones entre pares y cómo éstas se relacionan con la emergencia de habilidades de razonamiento (Staarman & Krol, 2005). Por tanto, en este estudio analizamos cómo emerge y cambia la interacción entre pares durante una tarea de resolución de problemas.

Análisis desde el punto de vista del microdesarrollo

Este tipo de análisis trata de describir el proceso de cambio en las trayectorias individuales (Siegler & Crowley, 1991) e identificar la emergencia de patrones a corto plazo (Yang & Fischer, 2007). Las dinámicas de los cambios a nivel micro (aprendizaje) y macro (desarrollo) se conciben como elementos interconectados que se influyen recíprocamente (Flynn & Sielger, 2007; Kuhn & Franklin, 2006). Los análisis microgenéticos se han empleado para estudiar el desempeño infantil en diversas situaciones de aprendizaje. Por ejemplo, el análisis microgenético de la actividad conocida como ‘la tarea de la balanza’ ha revelado que en su proceso de aprendizaje participan un mínimo de cuatro aspectos (Siegler & Chen, 2002): (1) el reconocimiento de las variables de la tarea; (2) la formulación de una regla que integre dichas variables (e.g., distancia y peso); (3) la generalización de la regla a situaciones nuevas de un modo consistente; y (4) el mantenimiento del uso de la nueva regla en presentaciones posteriores de la tarea. Se ha demostrado que la mayoría de los niños de cuatro años tienen dificultades en percibir la relevancia de la variable ‘distancia’, mientras que la mayor parte de los niños de cinco años son capaces de integrarla en la resolución de la tarea (Siegler & Chen, 2002). Otro ejemplo de un estudio microgenético con la tarea de la balanza, es el estudio realizado por Philips y Tolmie (2007). Estos autores analizaron la influencia de las interacciones entre padres e hijos en la comprensión infantil de la tarea. Los resultados indicaron que los niños que recibían el apoyo de sus padres realizaban un número menor de intentos para resolver la tarea, en comparación con los niños que no recibían ninguna ayuda. En particular, las explicaciones parentales

facilitaban un mejor desempeño de los niños. Complementariamente, Druyan (2001) observó que la condición que conlleva a que los preescolares que trabajan en una diada obtengan un nivel superior de desempeño, es el conflicto kinestésico generado por el equilibrio de la balanza, en mayor medida que el conflicto social de sus interacciones.

Dado que la interacción social es un aspecto fundamental del razonamiento, es importante analizar cómo las interacciones sociales y el razonamiento se relacionan en tiempo real. Nuestro estudio se centrará en esta relación en el contexto de resolución de problemas.

Objetivos del estudio

El propósito de este estudio es capturar las dinámicas a corto plazo de la interacción entre pares y las habilidades de razonamiento científico de preescolares durante una sesión de resolución de problemas. Por consiguiente, el estudio ilustra las trayectorias intra- e inter-individuales de los procesos concurrentes (interacción y razonamiento), utilizando técnicas que ponen de relieve los cambios temporales y los patrones de comportamiento. Aunque estudios previos han sido realizados a nivel grupal para modelar el aprendizaje en la tarea de la balanza (véase Jansen, Raijmakers, & Visser, 2007; Schmittmann, Visser & Raijmakers, 2006), nuestro estudio adopta un enfoque diferente. Aquí, el énfasis no se centra en el contenido de la tarea, sino en el proceso de razonamiento y en las interacciones observadas momento a momento.

Este estudio es parte de un proyecto de investigación más amplio realizado en los Países Bajos — Curious Minds — interesado en las dinámicas del razonamiento infantil y en cómo los niños construyen el conocimiento durante las actividades científicas, principalmente durante interacciones adulto-niño (e.g., Meindertsma, van Dijk, & van Geert, 2013; van der Steen, Steenbeek, van Dijk, & van Geert, 2013). Por tanto, en este estudio, nuestra pregunta de investigación está centrada en la interacción entre pares y el razonamiento, del siguiente modo: *¿De qué manera los cambios en la interacción y el razonamiento científico en diadas de preescolares en una tarea de resolución de problemas se relacionan en corto plazo?* Para responder a esta pregunta realizamos un análisis en profundidad del comportamiento de dos diadas para ilustrar las dinámicas de la interacción entre pares.

Método

Participantes

Los participantes seleccionados a partir de una amplia muestra de niños preescolares (13 diadas), fueron dos diadas, Willie y Tyler (6.6 y 6.8 años) y John e Iván (4.2 y 4.5 años)¹. En principio, cualquiera de las diadas podría haber sido seleccionada para ilustrar trayectorias — y patrones — de interacción y habilidades de razonamiento científico, dado que el estudio cuenta con un marco de variabilidad y no pretende realizar generalizaciones a otros niños o poblaciones.

No obstante, seleccionamos díadas que presentaban claramente un desempeño diferenciado en términos de interacción y razonamiento. Todas las díadas fueron estudiantes de una escuela internacional en los Países Bajos y participaron en el estudio con el consentimiento de sus padres. Uno de los requisitos para participar en el estudio era que los niños tuvieran un dominio completo del inglés. Las díadas fueron conformadas con niños del mismo salón de clase, con quienes, de acuerdo al profesor, estarían cómodos trabajando juntos. El criterio de edad (niños en edad preescolar) fue seleccionado porque en investigaciones previas se ha demostrado que la mayoría de los niños son capaces de utilizar habilidades tempranas de razonamiento científico a esta edad (véase Zimmerman, 2000).

Materiales

Al igual que en estudios previos sobre el razonamiento científico (e.g., Shultz, Mareschal, & Schmidt, 1994; Siegler & Chen, 1998), se utilizó una tarea de balanza de equilibrio horizontal (véase Figura 1). La tarea consistía en fichas rectangulares a modo de pesos para ser colgadas en 10 clavijas en cada lado de la balanza. Encima de las clavijas se facilitaba una pista perceptual (figuras geométricas) para distinguir aquellas que guardaban la misma distancia del fulcro.

Procedimiento

De manera independiente, la investigadora presentó a cada díada la tarea de la balanza. La sesión de juego (15 a 20 minutos), se videograbó y se llevó a cabo en un salón de clase de la escuela. A los niños se les pidió que trabajaran juntos para resolver siete problemas (ítems) en la balanza de equilibrio (Siegler & Chen, 1998), que implicaban para ellos un nivel de dificultad medio. La tarea consistía en dos ítems o problemas de ‘equilibrio’ (un número igual de pesos y una misma distancia al fulcro), dos ítems de ‘peso’ (número desigual de pesos, misma distancia) y tres ítems de ‘distancia’ (igual número de pesos, diferente distancia). Los siete ítems se presentaron a las díadas en el mismo orden, y requerían por

Figura 1. La tarea de la balanza.

parte de los niños, el siguiente uso de las habilidades de razonamiento científico: en primer lugar, se pedía a los niños *predecir* qué pasaría con una determinada disposición de los pesos, si la balanza se inclinaría o permanecería en equilibrio. Después de que los niños colgaran los pesos, se les incitó a facilitar *descripciones* y *explicaciones* al respecto. Por último, para los ítems en los que la balanza no quedaba en equilibrio, se pidió a los niños que utilizaran un peso extra para lograr equilibrarla. En resumen, las habilidades de razonamiento científico se rastrearon a través de las verbalizaciones de los niños, respondiendo al protocolo de predicciones, descripciones y explicaciones acerca de la balanza. Los ítems utilizados en este estudio requirieron del uso de las reglas I (número de pesos) y II (distancia del fulcro cuando el número de pesos es el mismo) con el fin de predecir la dirección correcta de la inclinación de la balanza, teniendo en cuenta el lado de la balanza con más pesos (Siegler et al., 1981). Los niños que utilizan estas reglas pueden solucionar con éxito los problemas de peso y distancia.

Sistema de codificación

Para codificar cada uno de los comportamientos de interacción y razonamiento se utilizaron dos sistemas de codificación. Uno de *interacción*, el cual implicó el criterio de ‘participación’ demostrado por cada niño de la diada, tal como (a) contribuir en la tarea y/o (b) comunicarse con su compañero. Por tanto, la interacción se percibe como una función de la tarea, que representa el grado de participación de cada niño con la tarea y con su compañero. Por consiguiente, basándonos en la literatura (Robinson, Anderson, Porter, & Hart, 2003; Storch, 2002) y en los comportamientos observados en la muestra global, se identificaron cinco categorías de interacción de los niños durante la resolución de la tarea. Los comportamientos de interacción de cada niño, se codificaron de acuerdo a la relación con su compañero y con la tarea (véase la Figura 2 y la Tabla 1). Solo una de las categorías (No trabaja) es independiente de la interacción del otro miembro de la diada.

Basándonos en estudios previos sobre las interacciones (véase Fischer & Bidell, 2006; Meindertsma, van Dijk, Steenbeek, & van Geert, 2012; van der Steen, Steenbeek, & van Geert, 2012), las cinco categorías de interacción fueron clasificadas en una escala ordinal con valores del 0 al 4, según su nivel de complejidad. Por lo que respecta al *sistema de codificación de las habilidades de razonamiento científico*, las verbalizaciones de los niños también se categorizaron en una escala ordinal con

Figura 2. Tipos de interacción entre pares. Véase el rol del niño A en relación con el niño B y la meta de la tarea (Goal).

Tabla 1. Tabla de codificación de las interacciones.

Categoría	Valor	Descripción y ejemplo de <i>evento</i> de interacción
No trabaja	0	No hay interacción con la tarea ni con el compañero. No participa en la tarea porque está despistado o se aleja de ella.
Trabajo pasivo	1	El niño interactúa con la tarea sin participar activamente. Permanece atento, mientras el compañero trabaja en la tarea.
Trabajo imitativo	2	Hay interacción con la tarea, imitando el comportamiento de su compañero. El niño imita el comportamiento de su compañero.
Trabajo paralelo	3	Hay interacción con la tarea, sin tener en cuenta la opinión del compañero. Ambos niños trabajan en la misma tarea, pero de manera independiente.
Trabajo colaborativo	4	Hay interacción con la tarea, tomando en consideración la opinión del compañero. Ambos niños trabajan al mismo tiempo en la tarea de un modo colaborativo.

Tabla 2. Tabla de codificación del razonamiento científico.

Categoría	Valor	Descripción	Ejemplo de <i>evento</i> de razonamiento
Sin respuesta	0	El niño no contesta a las preguntas sobre la tarea.	—
Otras verbalizaciones	1	El niño ofrece verbalizaciones que no hacen explícito su razonamiento sobre la tarea.	‘¡Sí!’, ‘¡Yo lo hago!’, ‘Esto — señalando la tarea’
Descripción	2	El niño indica elementos perceptuales de la tarea.	‘Esto es más’
Predicción	3	El niño indica qué pasaría si cuelga algunos pesos en la balanza.	‘Esto se inclinará’
Explicación	4	El niño sugiere razones sobre el efecto de colgar pesos en la balanza.	‘Este lado es más pesado porque está al final [fulcro]’

valores del 0 al 4 según su nivel de complejidad (véase [Tabla 2](#)). La habilidad de explicar se codificó como una habilidad más compleja que la elaboración de predicciones, puesto que, en el contexto del estudio, las explicaciones están basada en relaciones causales implícitas (e.g., distancia y peso) de la tarea. Por el contrario, la elaboración de predicciones estuvo delimitada por el protocolo empleado, dado que a los niños se les preguntaba si la balanza se inclinaría o no.

En ambos sistemas de codificación (interacciones y razonamiento científico), se realizó una conversión de categorías a valores para facilitar la visualización y el análisis de las trayectorias diádicas observadas en corto plazo. Todos los comportamientos se codificaron como ‘eventos’. Esto significa que cuando un niño pasaba de un tipo de interacción o razonamiento a otro diferente, para ese niño se codifica un nuevo evento en la variable correspondiente. Para cada niño se codificó el tipo de

habilidades de razonamiento científico (verbalizaciones) y simultáneamente el tipo de interacción co-ocurrente y se repitió la operación en el mismo punto temporal para el otro niño de la diada. Cada vez que uno de los niños cambiaba de comportamiento, se insertó un código de interacción y de razonamiento para su compañero, garantizando de ese modo que los dos niños tuvieran el mismo número de eventos (comportamientos) codificados de forma simultánea para ambas variables. Así, la longitud de las trayectorias de interacción y de razonamiento difería entre diadas según el número de cambios respectivos en los comportamientos observados. Por ejemplo, Willie y Tyler presentaron 44 eventos de interacción y razonamiento, mientras que para John e Iván se presentaron 17 eventos.

Con el objeto de establecer la fiabilidad inter-observadores, dos evaluadores (la primera y segunda autoras del artículo) codificaron los comportamientos de las dos diadas de manera independiente (un total de 61 eventos de interacción y de razonamiento científico). Para la categoría de interacción, la concordancia inter-observador alcanzó un 89% con un coeficiente Kappa de .83 (un acuerdo casi perfecto). En el caso de las habilidades de razonamiento científico, la concordancia inter-observador era de 93% con un Kappa de .91 (un acuerdo casi perfecto).

Análisis de datos

Se presentan diferentes técnicas cuantitativas para describir las trayectorias de microdesarrollo (i.e., las rutas de comportamientos) de las interacciones y del razonamiento de las diadas al resolver la situación de la balanza. Se contrasta los estadísticos generales sobre los tipos de interacción y razonamiento científico de los niños con una perspectiva analítica basada en la variabilidad. Para ello, centramos nuestra atención en la relación temporal de las diadas, aplicando tres técnicas distintas. El objetivo de estas técnicas es visualizar y caracterizar los cambios observados en las interacciones y en el razonamiento de los niños en cada momento, de la siguiente manera: (a) Los *gráficos de series temporales* (time-series graphs) nos permiten realizar un seguimiento de la variabilidad en tiempo real, revelando la relación de las interacciones y el razonamiento científico como trayectorias intra-individuales (en un mismo sujeto) e inter-individuales (entre sujetos) individuos. En esta técnica, un cambio en la frecuencia de la trayectoria hace referencia a un cambio en el nivel de la variable (van Geert & van Dijk, 2002). Además, se presenta un gráfico de series de tiempo de las interacciones diádicas de ambos niños para analizar si dichas interacciones guardan alguna relación a lo largo del tiempo. Adicionalmente, se emplea una sencilla *correlación de Spearman* para comprobar las asociaciones estadísticas entre las trayectorias de las interacciones y/o razonamiento científico; (b) Las *matrices de transición* (transition matrices) describen para cada niño las secuencias de transición de un tipo de interacción a otro; (c) El procedimiento híbrido de análisis de agrupación jerárquica aglomerativa (the hybrid hierarchical agglomerative clustering) se utiliza para identificar las similitudes a través del tiempo de

cada díada por separado, basado en la co-ocurrencia de las series de tiempo de las interacciones y del razonamiento científico.

Gráficos de Series de Tiempo

Esta técnica permite visualizar las trayectorias de los comportamientos en un marco temporal y se elabora de manera sencilla en una hoja de cálculo. En la primera columna se indica la línea temporal (e.g., eventos, segundos, minutos), seguida de dos columnas con la secuencia de interacciones y de razonamiento científico (eventos codificados) respectivamente. Estos datos se representan en un gráfico XY (véase Figuras 4 y 5). Los gráficos muestran la secuencia de comportamientos representada a través de los puntos de medición en el eje horizontal (número de eventos observados en la sesión), mientras que el eje vertical (Y) corresponde al nivel del comportamiento (valores de 0 a 4).

Técnica de matrices de transición

En este caso se elaboran diagramas que representan las probabilidades condicionales de pasar de un estado a otro (como las cadenas de Markov) (Grinstead & Laurie Snell, 1997). Esta técnica se utiliza para obtener información adicional sobre los cambios en las interacciones a lo largo del tiempo. El procedimiento consiste en crear una tabla de contingencia con todas las combinaciones posibles de los comportamientos y su ocurrencia relativa. Para elaborar los diagramas respectivos, las frecuencias de las transiciones son transformadas en porcentajes, mostrando así la proporción de cambios respecto al número total de comportamientos. Las flechas de los diagramas indican la dirección de las transiciones entre tipos de interacciones.

Análisis de agrupación jerárquica aglomerativa (procedimiento híbrido)

Esta técnica consiste en agrupar las observaciones basándose en sus semejanzas. El resultado es un diagrama de árbol (dendrograma) que agrupa los datos con una distribución ascendente. El número óptimo de agrupaciones es el que presenta un contraste máximo entre su homogeneidad interna y externa (Roy, 2010). Se efectuó una variante del análisis de agrupación jerárquica, un procedimiento híbrido conocido como agrupación jerárquica aglomerativa (en inglés, *Hierarchical Agglomerative Clustering* o HAC), combinado con un análisis de componente principal para especificar la naturaleza de los agrupamientos. Se trata de un algoritmo de agrupación en dos pasos que ayuda a identificar el número óptimo de grupos. El primer paso consiste en una agrupación rápida a través del método K-means para formar agrupaciones de bajo nivel. En un segundo paso, se utilizan estas agrupaciones para construir un diagrama de árbol que indica la mejor distribución o número de grupos. Una vez se definen los grupos, las semejanzas de los casos en cada uno de ellos se utilizan para interpretarlos.

El análisis de agrupación jerárquica está basado en los códigos utilizados para crear gráficos de serie de tiempo. En una hoja de cálculo, se colocan los nombres de las variables en la primera fila y sus respectivos datos en las columnas. Por tanto, la primera columna se corresponde con la línea temporal de los datos (e.g., 1, 2, 3 ...), y las columnas contienen las siguientes secuencias de datos: número de datos (i.e., eventos) y datos de las interacciones y de razonamiento científico por cada miembro de la diada (véase [Tabla 3](#)). Una vez finalizada la distribución de los datos, se realiza el análisis con TANAGRA 1.4.48 (Rakotomalala, 2005), un programa gratuito de análisis de datos. En nuestro estudio, el procedimiento híbrido de análisis de agrupación jerárquica aglomerativa, se utilizó para detectar grupos de datos en las trayectorias de las interacciones y del razonamiento científico de las diadas. Este análisis complementa el análisis de las series de tiempo en tanto que describe la estructura de las variables latentes a lo largo del tiempo. En las [Tablas 4 y 5](#) se muestran las agrupaciones identificadas para las dos diadas, con el porcentaje de observaciones en cada agrupación. Posteriormente, se realizó un análisis de componente principal con las agrupaciones obtenidas para clasificar las variables latentes dentro de cada agrupación. Como resultado del análisis de componente principal, se obtuvo el *valor de prueba*, una medida que indica la contribución de cada variable en cada agrupación. Esta estimación se basa en el nivel alto (> 1) o bajo (< -1) de las variables latentes en proporción al total de variables latentes de cada agrupación (Lebart, Morineau, & Piron, 2000). Por tanto, el valor de prueba categoriza las variables latentes en función de su relevancia. Los valores positivos hacen referencia a las variables de la agrupación con niveles significativamente más altos que la media de toda la muestra, y los valores negativos hacen referencia a las variables con niveles significativamente más bajos que la media de toda la muestra de observaciones. En resumen, en lugar del valor p , el valor de prueba ofrece una estructura de agrupación con un ajuste óptimo (comparación grupal).

Tabla 3. Ejemplo de organización de los datos de la serie temporal para aplicar un análisis de agrupación jerárquica.

Punto de datos (# Eventos)	Interacción		HRC	
	Niño 1	Niño 2	Niño 1	Niño 2
1	3	3	4	1
2	3	3	2	2
3	3	3	3	3
4	3	3	3	3
...	...	...	...	...
17	...	...	...	...
...	...	...	...	...
44	...	...	...	...

Nota: Los códigos corresponden a los tipos de interacción y de HRC definidos en las tablas de codificación. En las series temporales se indica cada miembro de la diada. N1 = Niño 1, N2 = Niño 2.

Tabla 4. Análisis de agrupación jerárquica aglomerativa de la diada Willie y Tyler.

Agrupación 1				Agrupación 2				Agrupación 3			
Observaciones [50.0%] <i>n</i> = 22				Observaciones [43.2%] <i>n</i> = 19				Observaciones [6.8%] <i>n</i> = 3			
Variable	Valor de		Media	Test de	Media		Variable	Valor de		Media	
	Prueba	Grupal	General		Prueba	Grupal		General			
			(<i>DT</i>)						(<i>DT</i>)	(<i>DT</i>)	(<i>DT</i>)
INT-T	5.41	3.55 (0.51)	2.50 (1.27)	HRC-W	4.14	3.63 (0.60)	HRC-T	1.1	2.00 (1.73)	1.11 (1.43)	
HRC-T	3.85	1.95 (1.40)	1.11 (1.43)	INT-W	-1.06	3.00 (0.00)	INT-T	0.7	3.00 (0.00)	2.50 (1.27)	
INT-W	3.65	3.55 (0.51)	3.14 (0.73)	HRC-T	-4.44	0.00 (0.00)	HRC-W	-2.84	0.00 (0.00)	2.50 (1.56)	
HRC-W	-2.67	1.86 (1.49)	2.50 (1.56)	INT-T	-5.82	1.21 (0.63)	INT-W	-5.16	1.00 (0.00)	3.14 (0.73)	

Nota: HRC = Habilidades de Razonamiento Científico, INT = Interacción, W = Willie, T = Tyler.

Tabla 5. Análisis de agrupación jerárquica aglomerativa de la diada de John e Iván.

Agrupación 1					Agrupación 2					Agrupación 3					
Observaciones [58.8%] $n = 10$					Observaciones [23.5%] $n = 4$					Observaciones [17.6%] $n = 3$					
Variable	Valor de		Media	Variable	Test de		Media	Variable	Valor de		Media	Variable	Prueba		Media
	Prueba	Grupal	General		Valor	Grupal	General		Prueba	Grupal	General				
(DT)			(DT)			(DT)									
INT-J	2.51	3.00 (0.00)	2.41 (1.12)	INT-I	0.95	3.00 (0.00)	2.71 (0.69)	HRC-J	1.13	3.00 (1.00)	2.35 (1.06)				
INT-I	2.05	3.00 (0.00)	2.71 (0.69)	HRC-I	0.41	2.50 (1.00)	2.29 (1.10)	INT-J	0.97	3.00 (0.00)	2.41 (1.12)				
HRC-I	1.76	2.70 (0.82)	2.29 (1.10)	HRC-J	-2.84	1.00 (0.00)	2.35 (1.06)	HRC-I	-2.73	0.67 (0.58)	2.29 (1.10)				
HRC-J	1.57	2.70 (0.82)	2.35 (1.06)	INT-J	-3.78	0.50 (0.58)	2.41 (1.12)	INT-I	-3.7	1.33 (0.58)	2.71 (0.69)				

Nota: HRC = Habilidades de Razonamiento Científico, INT = Interacción, J = John, I = Iván.

Resultados

Diferencias individuales en términos de promedios

Una manera habitual de describir los procesos psicológicos es a través de su cuantificación agregada en el tiempo, en ocasiones seguida de la asociación con medidas agregadas tales como edad, género y condición (experimental vs. grupo control). Adoptando este enfoque, la [Figura 3](#) muestra los porcentajes de los tipos de interacción y razonamiento científico de cada niño, indicando las diferencias entre los niños y la díada. Por ejemplo, la interacción entre Willie y Tyler se caracterizó por una relación asimétrica: Willie mostró de manera predominantemente trabajo paralelo (66%), mientras que Tyler fluctuó entre el trabajo pasivo (39%) y paralelo (34%). Por el contrario, John e Iván presentaron una relación simétrica: ambos niños contribuyeron casi en la misma proporción al trabajo paralelo (76% y 82% respectivamente). A pesar de la relación asimétrica entre Willie y Tyler, el trabajo colaborativo apareció en el 27% de los eventos observados, mientras que, en el caso de John e Iván, no se observó este tipo de interacción.

Figura 3. Porcentaje de las habilidades de razonamiento científico y tipos de interacción usados por las dos díadas durante la tarea de la balanza.

Por lo que respecta al uso de sus habilidades de razonamiento científico, Willie hizo mayor uso de explicaciones (36%) y descripciones (14%) que su compañero (5%), pero ambos usaron la misma proporción de predicciones (25%). Por el contrario, John e Iván mostraron un desempeño más homogéneo con una gran proporción de predicciones (41% y 53% respectivamente) y un bajo porcentaje de explicaciones (16% y 6% respectivamente) y descripciones (18% y 12% respectivamente). En las próximas secciones se presentarán análisis basados en procesos con el fin de examinar la complejidad de las interacciones que no son visibles en éste análisis global (véase [Figura 3](#)).

Trayectorias intra- e inter-individuales analizadas a través de series de tiempo

Los gráficos de series de tiempo de la [Figura 4](#), ilustran los cambios en las trayectorias de interacción intra-individuales durante una sesión de resolución de la balanza, y muestran que tanto las interacciones como los razonamientos científicos presentan fluctuaciones a lo largo del tiempo. Por ejemplo, Willie elaboró predicciones y explicaciones (véanse observaciones 16 a 25), principalmente durante las interacciones paralelas y colaborativas. A diferencia de Willie, la variabilidad en los desempeños de Tyler se caracterizó inicialmente por el uso de predicciones durante el trabajo paralelo y colaborativo (véanse observaciones 1 a 35), y el trabajo paralelo y pasivo (observaciones 36 hasta el final). Además, sus dos únicas explicaciones aparecieron durante el trabajo colaborativo. En contraste con esta díada, las actuaciones de John e Iván fueron más regulares y homogéneas. Ellos emplearon el trabajo paralelo durante la elaboración de predicciones y descripciones, también usaron explicaciones esporádicas durante el trabajo paralelo, pero no durante momentos de colaboración, como sucedió con la díada de Willie y Tyler.

De modo complementario, se utilizó el coeficiente de correlación de Spearman para las trayectorias intra-individuales (escala ordinal de 0 a 4), con el fin de examinar si las habilidades de razonamiento científico guardaban alguna relación con las interacciones de las díadas. En el caso de Tyler, se encontró una alta correlación positiva entre las habilidades de razonamiento científico y las interacciones ($r_s(42) = .563, p < .001$), mientras que para Willie no se observó ninguna correlación $r_s(42) = -.030, p = .849$). También se encontró una alta correlación positiva entre las habilidades de razonamiento científico y las interacciones a nivel individual tanto para John ($r_s(15) = .709, p < .001$) como para Iván ($r_s(15) = .640, p < .01$), lo que indicaría que durante niveles altos de participación diádica tuvieron lugar altos niveles de razonamiento científico.

En resumen, las trayectorias de interacción de habilidades de razonamiento científico fueron muy variables para Willie y Tyler, y más homogéneas en el caso de John e Iván. Adicionalmente, cada uno de los niños mostró relaciones diversas entre los tipos de interacciones y de razonamiento científico (e.g., elaboración de explicaciones durante el trabajo paralelo y/o colaborativo), y para tres de los cuatro niños (Willie, John e Iván), las interacciones se correlacionaron con el uso de habilidades de razonamiento científico.

John e Iván

Willie y Tyler

Figura 4. Trayectorias individuales y de habilidades de razonamiento científico de Willie (W), Tyler (T), John (J) e Iván (I). Las trayectorias de HRC (ver línea continua) adoptan valores entre 0 y 4 según sus respectivas categorías: Sin respuesta (0), Otros (1), Descripciones (2), Predicciones (3), Explicaciones (4). Las trayectorias de interacción (línea discontinua) adopta valores entre 0 y 4 según sus categorías respectivas: No trabaja (0), Trabajo pasivo (1), Trabajo imitativo (2), Trabajo paralelo (3), Trabajo colaborativo (4).

Figura 5. Trayectorias inter-individuales de interacción diádica: Willie-Tyler (5a) y John-Iván (5b). Las trayectorias de interacción obtienen valores entre 0 y 4 según sus respectivas categorías: No trabaja (0), Trabajo pasivo (1), Trabajo imitativo (2), Trabajo paralelo (3), Trabajo colaborativo (4) .

Dinámicas a corto plazo de las interacciones diádicas por medio del análisis de series de tiempo

La técnica de las series de tiempo también puede aplicarse a los comportamientos de interacción trazando las trayectorias de ambos niños en un único gráfico. En la Figura 5, las trayectorias inter-individuales de las díadas muestran movimientos de sincronía o de ocurrencia simultánea de las interacciones (trabajo paralelo) durante la resolución de la tarea. Willie y Tyler mostraron sincronía en parte de sus trayectorias (véanse observaciones 35 a 44) con una correlación positiva y alta ($r_s(42) = .687$, $p < .001$). Esto indica una elevada conexión en las interacciones entre pares. Podría decirse que cada uno de los niños sigue un patrón particular en sus interacciones, mientras trata de permanecer sincronizado con el otro niño de la díada. Por ejemplo, cuando Willie realiza un trabajo paralelo, Tyler muestra trabajo pasivo y paralelo, manteniendo esta asociación casi hasta el final de la trayectoria (observación 35).

Las trayectorias de John e Iván revelaron una dinámica de interacción diferente que incluía un número considerable de repeticiones en sus tipos de interacciones, así como cambios rápidos de un tipo de interacción a otro (véanse observaciones 1 a 10 y 11 a 17). En John observamos un patrón consistente en cambios regulares de un tipo de interacción estable (trabajo paralelo) a una variedad de tipos de interacciones (e.g., trabajo paralelo, no trabaja, trabajo pasivo y trabajo paralelo). Al mismo tiempo, Iván cambió sus interacciones de manera opuesta, pasando de fluctuaciones irregulares (trabajo paralelo, pasivo, e imitativo) a una interacción estable (trabajo paralelo). El coeficiente de correlación de Spearman reveló una asociación estadística débil y no significativa entre los estilos de interacción en tiempo real de John y de Iván ($r_s(17) = -.253, p = .326$).

En general, observamos que las diadas tienen patrones de interacción muy diferentes. Una de ellas se caracteriza por una fuerte conexión que parece estar relacionada con la reciprocidad del trabajo colaborativo (Willie y Tyler), mientras que la otra (John e Iván) es más independiente, sin mostrar un acoplamiento claro entre los comportamientos de ambos niños.

Resumen de los cambios individuales entre las interacciones a través del uso de matrices de transición

En la [Figura 6](#), a partir de todos los cambios entre las interacciones, se describen las principales rutas de interacción que suman aproximadamente el 80% de las

Figura 6. Diagramas de las transiciones individuales de interacción para cada uno de los miembros de la diada.

transiciones. En la díada formada por Willie y Tyler, Willie presenta un total de siete rutas de interacción, de las cuales, cuatro cubren la gran mayoría de las transiciones basadas en el trabajo paralelo y colaborativo, del siguiente modo: trabajo *paralelo-paralelo* (49%), *paralelo-colaborativo* (14%) y *colaborativo-colaborativo* (14%). Por el contrario, Tyler presenta una gran variedad de transiciones, con nueve rutas de interacción basadas en tres tipos diferentes (trabajo pasivo, paralelo y pasivo). Las cinco rutas de interacción de Tyler fueron: trabajo *pasivo-pasivo* (21%), *pasivo-paralelo* (14%), *paralelo-pasivo* (12%), *paralelo-colaborativo* (12%) y *colaborativo-colaborativo* (12%). En la díada de John e Iván, John presentó un total de tres rutas de interacción consistentes en trabajo paralelo y pasivo. La principal ruta de transición de John fue trabajo *paralelo-paralelo* (67%). Su compañero Iván mostró transiciones entre tres tipos de interacciones (trabajo pasivo, paralelo e imitativo), dando lugar a cinco rutas de interacción, de los cuales las tres más comunes fueron: trabajo *paralelo-paralelo* (63%), trabajo *paralelo-pasivo* (13%) y *pasivo-paralelo* (13%).

En definitiva, las matrices de transición revelaron diferencias individuales en las transiciones de interacción infantiles.

Semejanzas en las trayectorias de las díadas a partir del procedimiento híbrido de análisis de agrupación jerárquica aglomerativa

Para Willie y Tyler, los resultados de la combinación del análisis de agrupación jerárquica y los respectivos análisis de componente principal, caracterizaron sus trayectorias de interacción y razonamiento científico en tres agrupaciones (Tabla 4). Dos agrupaciones fuertes (1 y 2) contienen respectivamente el 50% y el 43% de todas las observaciones, con una tercera agrupación que contiene el 7% de las observaciones. La agrupación 1 se caracteriza por niveles elevados de razonamiento científico y de interacciones (Tyler) con un alto nivel de interacción y un nivel bajo de razonamiento (Willie). La agrupación 2 corresponde a momentos de altos (Willie) y bajos niveles (Tyler) de razonamiento científico con niveles bajos de interacción para la díada. La agrupación 3 consiste en momentos en los que las trayectorias de las díadas presentan niveles relativamente bajos de razonamiento científico y de interacción (Willie) con niveles elevados de razonamiento científico (Tyler). Este patrón de agrupación revela la alternancia de la díada: mientras que uno de los niños presenta niveles elevados de razonamiento científico y de interacción, su compañero tiende a permanecer relativamente pasivo, exhibiendo niveles bajos de razonamiento científico y de interacción.

En el caso de John e Iván, se identificaron tres agrupaciones con estructuras diferentes (véase Tabla 5). La agrupación 1 contiene más de la mitad de las observaciones (60%), mientras que las agrupaciones 2 y 3 contienen una proporción menor (23.5% y 17.6% respectivamente). La agrupación 1 muestra niveles relativamente altos de interacción y niveles moderados y bajos de razonamiento científico tanto para John como para Iván. En la agrupación 2 se observan niveles bajos (Iván) y muy bajos (John) de interacción y razonamiento científico, mientras que en la agrupación 3 se encuentran niveles bajos de

razonamiento científico (Iván) y de interacción (John e Iván) con niveles moderados de razonamiento científico (John). Aquí, el patrón de agrupamiento en lugar de alternancia, reveló un comportamiento de acoplamiento o ajuste entre los niños: ambos niños presentaban niveles similares de interacción y de razonamiento científico.

En definitiva, las agrupaciones permitieron identificar las relaciones principales entre las trayectorias de las díadas. Por ejemplo, en ciertos momentos los niños presentaron un nivel similar de interacción y de razonamiento científico (e.g., agrupaciones 1 y 3), mientras que, en otros momentos, uno de los niños presentaba un nivel de comportamiento opuesto al de su compañero (e.g., agrupación 1 — díada compuesta por Willie y Tyler), o una combinación que iguala el nivel de su compañero para un comportamiento, pero no para el otro (e.g., agrupación 2 — díada de Willie y Tyler).

Discusión

En este estudio se han analizado los datos comportamentales de dos díadas de preescolares y hemos descrito sus interacciones y habilidades de razonamiento científico a corto plazo en una única sesión de resolución de problemas. El propósito de este enfoque consistió en evidenciar los patrones dinámicos de comportamientos co-ocurrentes. El análisis se centró en la micro-escala temporal del comportamiento infantil, mostrando su variabilidad en cada momento. Estos análisis orientados al proceso, permiten conocer las transacciones de comportamiento en tiempo real. Por ejemplo, el análisis a corto plazo reveló la existencia de dos patrones de interacciones diádicas (conectadas e independientes) revelando la presencia de diferentes comportamientos de acoplamiento o ajuste en las dos díadas. Para el razonamiento científico, encontramos que la díada que presentaba un acoplamiento más estrecho (conectada), mostraba mayor variabilidad en el uso de sus habilidades de razonamiento científico, mientras que la otra díada en la que no se llegó a identificar claramente un acoplamiento, presentaba un desempeño homogéneo de sus habilidades de razonamiento científico. No obstante, las trayectorias intra-individuales revelaron que los niños presentaban sus propios patrones entre el tipo de interacción y las habilidades de razonamiento científico. Las trayectorias intra e inter-individuales muestran que los patrones de interacción y de razonamiento científico de las díadas son idiosincráticas (Molenaar & Campbell, 2009). La evidencia obtenida a través de los diagramas de transición, el procedimiento híbrido análisis de agrupación jerárquica aglomerativa y las correlaciones de series de tiempo, muestran que las diferencias entre las dos díadas son de naturaleza cualitativa. Si bien algunas díadas pueden presentar el mismo nivel de interacciones y de habilidades de razonamiento científico, sus trayectorias muestran variaciones en su emergencia temporal y en la naturaleza cualitativa de sus interacciones. Puede haber diversas causas que expliquen las divergencias entre las dos díadas, como las diferencias en la extroversión de los diferentes niños participantes o el hecho que una de las díadas fuese de mayor edad que la otra. No obstante, el foco de este estudio consistió en facilitar una

descripción detallada de los patrones de interacción observados, más que en determinar el origen de dichas diferencias.

El valor de las técnicas utilizadas en este estudio reside en enfocar los procesos en tiempo real, caracterizando la naturaleza variable del microdesarrollo a través de observaciones microgenéticas que permiten a los investigadores descubrir la emergencia de patrones que de otro modo pasarían desapercibidos. Por tanto, la contribución de estas técnicas al conjunto de herramientas de los psicólogos del desarrollo consiste en ofrecer análisis temporales que integran variables cualitativamente diferentes (en este caso, interacciones y habilidades de razonamiento científico). Una limitación del estudio es que los análisis se basan en categorías ordinales. A pesar de ello, su contribución respecto a futuras investigaciones consiste en el hecho de que medidas repetidas como las utilizadas aquí, pueden incluirse en análisis multivariados con muestras más amplias, haciendo justicia a la riqueza de la variabilidad y la dinámica de los procesos subyacentes. Además, la naturaleza cuantitativa de los casos individuales nos permite comprobar estadísticamente las diferencias intra- e inter-individuales, por ejemplo, a través de técnicas de permutación (véase van Geert, Steenbeek, & Kunnen, 2012). Estas técnicas pueden ser empleadas en diversos conjuntos de datos, desde una perspectiva micro o macro, y complementan el uso de análisis basados en el contenido. Aunque todavía se necesita un número suficiente de estudios de casos individuales para poder hacer generalizaciones a un nivel de la población (Molenaar & Campbell, 2009), nuestros resultados son muy apropiados para abordar preguntas sobre el desarrollo, como por ejemplo: ‘¿Cómo contribuyen los patrones de interacción diádica en el proceso de aprendizaje o la emergencia de habilidades específicas de razonamiento?’ y ‘¿Qué aspecto tienen las interacciones diádicas en tiempo real durante las actividades de aprendizaje?’. Asimismo, los investigadores deben tener en cuenta que si el desarrollo es eminentemente idiosincrático, como hemos defendido en este estudio, las medias grupales no reflejan (la mayoría de) la población. Futuros investigadores pueden combinar las técnicas descritas en este artículo con la de la técnica de rejillas de estados de espacio (State Space Grids), una técnica de sistemas dinámicos (e.g., Hollenstein, 2013) para identificar posibles patrones diádicos en trayectorias más largas de interacciones y las conexiones entre patrones a corto y largo plazo (e.g., van Dijk et al., 2012).

Por lo que respecta a las implicaciones educativas, nuestros resultados sobre las diferencias cuantitativas entre los patrones diádicos corroboran la idea de que debemos ser conscientes de que la adquisición de conocimientos durante las interacciones diádicas puede adoptar diferentes formas. Además, es importante reconocer que las variaciones individuales no son aleatorias, sino que constituyen patrones que pueden ser similares entre grupos de individuos. En investigaciones futuras, es importante relacionar los patrones a corto plazo de las interacciones y las habilidades de razonamiento científico con el desarrollo a largo plazo. Por ejemplo, esta relación puede utilizarse para investigar si un tipo de interacción está relacionada con un tipo complejo de razonamiento científico o si las diadas de niños en la resolución de problemas, presentan un patrón predominante de interacción diádica a largo plazo. Es importante también conocer cómo la

interacción diádica de los niños cambia a lo largo plazo, con respecto a su contribución en la resolución de problemas. La integración de estos microanálisis con un mayor número de medidas globales del cambio es importante para tener una mejor comprensión de los procesos de interacción y razonamiento científico a diferentes niveles de interacción social (e.g., padre-hijo, profesor-alumno o grupos pequeños) en contextos naturales de aprendizaje y desarrollo (e.g., Cox & van Dijk, 2013; Kupers, van Dijk, & van Geert, 2015).

Nota

1. Se han cambiado los nombres para proteger la anonimidad de los niños.

Acknowledgments / Agradecimientos

The first author acknowledges Colciencias (Colombian Institute for the Development of Science and Technology 'Francisco José de Caldas' grant Ref. 512) for the financial support received as a grant for her doctoral studies. The authors also thank the collaboration of the school and all the children and their families that made this study possible. / *La primera autora agradece a Colciencias (Instituto de Colombia para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología 'Francisco José de Caldas'. Ref. 512) por el apoyo económico recibido a través de la beca para llevar a cabo sus estudios doctorales. Los autores agradecen también la colaboración del colegio y de todos los niños y sus respectivas familias, que hicieron posible este estudio.*

Disclosure statement

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.*

References / Referencias

- Azmitia, M. (1988). Peer interaction and problem solving: When are two heads better than one? *Child Development*, 59, 87–96. doi:10.2307/1130391
- Cooper, C. R. (1980). Development of collaborative problem solving among preschool children. *Developmental Psychology*, 16, 433–440. doi:10.1037/0012-1649.16.5.433
- Cox, R. F. A., & van Dijk, M. (2013). Microdevelopment in parent-child conversations: From global changes to flexibility. *Ecological Psychology*, 25, 304–315. doi:10.1080/10407413.2013.810095
- Crowley, K., Callanan, M. A., Jipson, J. L., Galco, J., Topping, K., & Shrager, J. (2001). Shared scientific thinking in everyday parent-child activity. *Science Education*, 85, 712–732. doi:10.1002/(ISSN)1098-237X
- Doise, W., Mugny, G., & Perret-Clermont, A. (1976). Social interaction and cognitive development: Further evidence. *European Journal of Social Psychology*, 6, 245–247. doi:10.1002/(ISSN)1099-0992
- Druyan, S. (2001). A comparison of four types of cognitive conflict and their effect on cognitive development. *International Journal of Behavioral Development*, 25, 226–236. doi:10.1080/01650250042000276
- Fawcett, L. M., & Garton, A. F. (2005). The effect of peer collaboration on children's problem-solving ability. *The British Journal of Educational Psychology*, 75(2), 157–169. doi:10.1348/000709904X23411

- Fischer, K. W., & Bidell, T. (2006). Dynamic development of action, thought, and emotion. In R. M. Lerner (Ed.), & W. Damon (Series Ed.), *Handbook of child psychology: Vol. 1. Theoretical models of human development* (6th ed., pp. 313–399). New York, NY: Wiley.
- Flynn, E., & Sielger, R. (2007). Measuring change: Current trends and future directions in microgenetic research. *Infant and Child Development*, 16, 135–149. doi:[10.1002/icd.502](https://doi.org/10.1002/icd.502)
- Gauvain, M., & Rogoff, B. (1989). Collaborative problem solving and children's planning skills. *Developmental Psychology*, 25, 139–151. doi:[10.1037/0012-1649.25.1.139](https://doi.org/10.1037/0012-1649.25.1.139)
- Gijlers, H., Saab, N., Van Joolingen, W. R., De Jong, T., & van Hout-Wolters, B. H. A. M. (2009). Interaction between tool and talk: How instruction and tools support consensus building in collaborative inquiry-learning environments. *Journal of Computer Assisted Learning*, 25, 252–267. doi:[10.1111/j.1365-2729.2008.00302.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2008.00302.x)
- Gopnik, A. (2012). Scientific thinking in young children: Theoretical advances, empirical research and policy implications. *Science*, 337, 1623–1627. doi:[10.1126/science.1223416](https://doi.org/10.1126/science.1223416)
- Gopnik, A., Glymour, C., Sobel, D. M., Schulz, L. E., Kushnir, T., & Danks, D. (2004). A theory of causal learning in children: Causal maps and Bayes nets. *Psychological Review*, 111, 3–32. doi:[10.1037/0033-295X.111.1.3](https://doi.org/10.1037/0033-295X.111.1.3)
- Granott, N., Fischer, K. W., & Parziale, J. (2002). Bridging to the unknown: A transition mechanism in learning and development. In N. Granott, & J. Parziale (Eds.), *Microdevelopment: Transition processes in development and learning* (pp. 131–156). Cambridge: Cambridge University Press.
- Granott, N., & Parziale, J. (2002). Microdevelopment: A process-oriented perspective for studying development and learning. In N. Granott, & J. Parziale (Eds.), *Microdevelopment: Transition processes in development and learning* (pp. 1–28). Cambridge: Cambridge University Press.
- Grinstead, C. M., & Laurie Snell, J. (1997). *Introduction to probability* (2nd ed.). Providence, RI: American Mathematical Society Press.
- Haden, C. A. (2010). Talking about science in museums. *Child Development*, 4, 62–67. doi:[10.1111/j.1750-8606.2009.00119.x](https://doi.org/10.1111/j.1750-8606.2009.00119.x)
- Hollenstein, T. (2013). State space grids. In T. Hollenstein (Ed.), *State space grids: Depicting dynamics across development* (pp. 11–34). New York, NY: Springer.
- Holmes, H. (1997, April 3–6). *Preschool children's collaborative problem-solving interactions: Influence of task, partner gender, and conversational style*. Paper presented at the 62nd Biennial Meeting of the Society for Research in Child Development, Washington, DC.
- Howe, C., Tolmie, A., Greer, K., & Mackenzie, M. (1995). Peer collaboration and conceptual growth in physics: Task influences on children's understanding of heating and cooling. *Cognition and Instruction*, 13, 483–503. doi:[10.1207/s1532690xcil304_2](https://doi.org/10.1207/s1532690xcil304_2)
- Jansen, B. R. J., Raijmakers, M. E. J., & Visser, I. (2007). Rule transition on the balance scale task: A case study in belief change. *Synthese*, 155, 211–236. doi:[10.1007/s11229-006-9142-9](https://doi.org/10.1007/s11229-006-9142-9)
- Kuhn, D. (2002). What is scientific thinking and how does it develop? In U. Goswami (Ed.), *Handbook of childhood cognitive development* (pp. 371–393). Oxford: Blackwell.
- Kuhn, D. (2004). What is scientific thinking and how does it develop? In U. Goswami (Ed.), *Blackwell handbook of childhood cognitive development* (pp. 371–393). Malden, MA: Blackwell.
- Kuhn, D., & Franklin, S. (2006). The second decade: What develops (and how). In W. Damon, R. M. Lerner, D. Kuhn, & R. S. Siegler, (Vol. Eds.), *Handbook of child psychology: Volume 2: Cognition, perception, and language* (6th ed., pp. 953–993). Hoboken, NJ: Wiley.

- Kuhn, D., Garcia-Mila, M., Zohar, A., & Andersen, C. (1995). Strategies of knowledge acquisition. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 60(4), Serial No. 245. doi:[10.2307/1166059](https://doi.org/10.2307/1166059)
- Kupers, E., van Dijk, M., & van Geert, P. (2015). Within-teacher differences in one-to-one teacher-student interactions in instrumental music lessons. *Learning and Individual Differences*, 37, 283–289. doi:[10.1016/j.lindif.2014.11.012](https://doi.org/10.1016/j.lindif.2014.11.012)
- Lebart, L., Morineau, A., & Piron, M. (2000). *Statistique exploratoire multidimensionnelle*. Paris: Dunod.
- Meindertsma, H., van Dijk, M., & van Geert, P. (2013). Assessment of preschooler's scientific reasoning in adult-child interactions: What is the optimal context? *Research in Science Education*, 44, 215–237.
- Meindertsma, H. B., van Dijk, M., Steenbeek, H., & van Geert, P. (2012). Application of skill theory to compare scientific reasoning of young children in different tasks. *Netherlands Journal of Psychology*, 67, 9–19.
- Melander, H. (2012). Transformations of knowledge within a peer group. Knowing and learning in interaction. *Learning, Culture and Social Interaction*, 1, 232–248. doi:[10.1016/j.lcsi.2012.09.003](https://doi.org/10.1016/j.lcsi.2012.09.003)
- Mercer, N., Dawes, L., Wegerif, R., & Sams, C. (2004). Reasoning as a scientist: Ways of helping children to use language to learn science. *British Educational Research Journal*, 30, 359–377. doi:[10.1080/01411920410001689689](https://doi.org/10.1080/01411920410001689689)
- Molenaar, P. C. M. (2010). On the limits of standard quantitative genetic modeling of inter-individual variation. In K. E. Hood, C. T. Halpern, G. Greenberg, & R. M. Lerner (Eds.), *Handbook of developmental science, behavior, and genetics* (pp. 626–648). Oxford: Wiley-Blackwell.
- Molenaar, P. C. M., & Campbell, C. G. (2009). The new person-specific paradigm in psychology. *Current Directions in Psychological Science*, 18, 112–117. doi:[10.1111/cdir.2009.18.issue-2](https://doi.org/10.1111/cdir.2009.18.issue-2)
- Nesselroade, J. R., & Molenaar, P. C. M. (2010). When persons should be few and occasions should be many – Modeling a different kind of longitudinal data. *ISSBD Bulletin*, 57, 2–4.
- Nokes-Malach, T. J., Meade, M. L., & Morrow, D. G. (2012). The effect of expertise on collaborative problem solving. *Thinking & Reasoning*, 18, 32–58. doi:[10.1080/13546783.2011.642206](https://doi.org/10.1080/13546783.2011.642206)
- Overton, W. (2014). The process-relational paradigm and relational-developmental-systems metamodel as context. *Research in Human Development*, 11, 323–331. doi:[10.1080/15427609.2014.971549](https://doi.org/10.1080/15427609.2014.971549)
- Perret-Clermont, A. N. (1980). *Social interaction and cognitive development in children*. London: Academic Press.
- Philips, S., & Tolmie, A. (2007). Children's performance on and understanding of the balance scale problem: The effects of parental support. *Infant and Child Development*, 16, 95–117. doi:[10.1002/\(ISSN\)1522-7219](https://doi.org/10.1002/(ISSN)1522-7219)
- Rakotomalala, R. (2005). *Tanagra: A free software for research and academic purposes*. Proceedings of EGC 2005, RNTI-E-3, 2, 697–702.
- Riese, H., Samara, A., & Lillejord, S. (2012). Peer relations in peer learning. *International Journal of Qualitative Studies in Education*, 25, 601–624. doi:[10.1080/09518398.2011.605078](https://doi.org/10.1080/09518398.2011.605078)
- Robbins, J. (2005). 'Brown paper packages'? A sociocultural perspective on young children's ideas in science. *Research in Science Education*, 35, 151–172. doi:[10.1007/s11165-005-0092-x](https://doi.org/10.1007/s11165-005-0092-x)
- Robinson, C. C., Anderson, G. T., Porter, C. L., Hart, C. H., & Wouden-Miller, M. (2003). Sequential transition patterns of preschoolers' social interactions during child-initiated play: Is parallel-aware play a bidirectional bridge to other play states? *Early Childhood Research Quarterly*, 18, 3–21. doi:[10.1016/S0885-2006\(03\)00003-6](https://doi.org/10.1016/S0885-2006(03)00003-6)

- Rogoff, B. (2003). *The cultural nature of human development*. New York, NY: Oxford University Press.
- Rojas-Drummond, S. (2009). Rethinking the role of peer collaboration in enhancing cognitive growth. *Human Development*, 52, 240–245. doi:10.1159/000215073
- Roschelle, J. M., Pea, R. D., Hoadley, C. M., Gordin, D. N., & Means, B. M. (2000). Changing how and what children learn in school with computer-based technologies. *The Future of Children*, 10(2), 76–101. doi:10.2307/1602690
- Roy, D. (2010). Cluster analysis for test-retest reliability. *International Journal of Psychological Research*, 3, 131–139.
- Salvatore, S., & Valsiner, J. (2009). Idiographic science on its way: Towards making sense of psychology. In S. Salvatore, J. Valsiner, S. Strout, & J. Clegg (Eds.), *YIS: Yearbook of idiographic science* (Vol. 1, pp. 9–19). Rome: Firera.
- Schmittmann, V. D., Visser, I., & Raijmakers, M. E. J. (2006). Multiple learning modes in the development of performance on a rule-based category-learning task. *Neuropsychologia*, 44, 2079–2091. doi:10.1016/j.neuropsychologia.2005.12.011
- Shultz, T. R., Mareschal, D., & Schmidt, W. C. (1994). Modeling cognitive development on balance scale phenomena. *Machine Learning*, 16, 57–86. doi:10.1007/BF00993174
- Siegler, R. S., & Chen, Z. (2002). Development of rules and strategies: Balancing the old and the new. *Journal of Experimental Child Psychology*, 81, 446–457. doi:10.1006/jecp.2002.2666
- Siegler, R. S., & Chen, Z. (1998). Developmental differences in rule learning: A micro-genetic analysis. *Cognitive Psychology*, 36, 273–310. doi:10.1006/cogp.1998.0686
- Siegler, R. S., & Crowley, K. (1991). The microgenetic method: A direct means for studying cognitive development. *American Psychologist*, 46, 606–620. doi:10.1037/0003-066X.46.6.606
- Siegler, R. S., Strauss, S., & Levin, I. (1981). Developmental sequences within and between concepts. *Monographs of the Society for Research in Child Development*, 46, 1–84. doi:10.2307/1165995
- Srinivas, H. (2011). *What is collaborative learning?* Kobe, Japan: The Global Development Research Center. Retrieved from <http://www.gdrc.org/kmgmt/c-learn/index.html>
- Staarman, J. K., & Krol, K. (2005). Peer interaction in three collaborative learning environments. *Journal of Classroom Interaction*, 40, 29–39.
- Storch, N. (2002). Patterns of interaction in ESL pair work. *Language Learning*, 52, 119–158. doi:10.1111/lang.2002.52.issue-1
- Thurston, A., Van De Keere, K., Topping, K. J., Kosack, W., Gatt, S., Marchal, J., & Mestdagh, N. (2007). Peer learning in primary school science: Theoretical perspectives and implications for classroom practice. *Electronic Journal of Research in Educational Psychology*, 5, 477–496.
- van der Steen, S., Steenbeek, H., van Dijk, M., & van Geert, P. (2013). A process approach to children's understanding of scientific concepts: A longitudinal case study. *Learning and Individual Differences*, 30, 84–91.
- van der Steen, S., Steenbeek, H., & van Geert, P. (2012). Using the dynamics of a person context system to describe children's understanding of air pressure. In H. Kloos, B. J. Morris, & J. L. Amaral (Eds.), *Current topics in children's learning and Cognition* (pp. 21–44). Rijeka, Croatia: InTech. doi:10.5772/53935
- van Dijk, M., Hunnius, S., & van Geert, P. (2012). The dynamics of feeding during the introduction to solid food. *Infant Behavior and Development*, 35, 226–239. doi:10.1016/j.infbeh.2012.01.001
- van Geert, P., Steenbeek, H., & Kunnen, S. (2012). Monte Carlo techniques: Statistical simulation for developmental data. In E. S. Kunnen (Ed.), *A dynamic systems approach to adolescent development* (pp. 43–52). London: Psychology Press.

- van Geert, P., & van Dijk, M. (2002). Focus on variability: New tools to study intra-individual variability in developmental data. *Infant Behavior and Development*, 25, 340–374. doi:[10.1016/S0163-6383\(02\)00140-6](https://doi.org/10.1016/S0163-6383(02)00140-6)
- Vygotsky, L. (1986). *Thought and Language*. Cambridge, MA: The Massachusetts Institute of Technology.
- Williams, S. T., Ontai, L. L., & Mastergeorge, A. M. (2010). The development of peer interaction in infancy: Exploring the dyadic processes. *Social Development*, 19, 348–368. doi:[10.1111/sode.2010.19.issue-2](https://doi.org/10.1111/sode.2010.19.issue-2)
- Yang, Z., & Fischer, K. (2007). Pattern emergence and pattern transition in microdevelopmental variation: Evidence of complex dynamics of developmental processes. *Journal of Developmental Processes*, 2(2), 39–62.
- Zimmerman, C. (2000). The development of scientific reasoning skills. *Developmental Review*, 20, 99–149. doi:[10.1006/drev.1999.0497](https://doi.org/10.1006/drev.1999.0497)