

Comprensión de sistemas de engranajes: un estudio del cambio cognitivo y las herramientas cognitivas en niños de cuatro años*

Understanding Gear Systems: A Study of Cognitive Change and Cognitive Tools in Four Year-Old Children

Recibido: julio 6 de 2007 | Revisado: abril 16 de 2008 | Aceptado: abril 28 de 2008

CLAUDIA PATRICIA NAVARRO-ROLDÁN** Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, Tunja, Colombia

ABSTRACT

During the process of solving a problem situation involving a gear system in the context of manipulative game, the actions of four-year old children show plans and procedures that evidence the articulate use of cognitive tools of hypothesis statement and experimentation. We identify transformations of the cognitive functioning in the changes of knowledge representation formats: exploratory, intermediate, and solving. 60 children participated with four experimentation trials and two applications separated by a 15-days interval. A procedural perspective is privileged supported on the microgenetic methodology. Throughout the trials, the child states premises, transforms them, verifies them and draws conclusions, restates or generates new premises, thus advancing in his or her process of understanding

Key words authors

Cognitive Change, Statement of Hypothesis, Experimentation, Physical Reasoning.

Key words plus

Problem Solving, Games, Experimental, Cognition in Children.

RESUMEN

Durante el proceso de resolución de una situación problema que involucra un sistema de engranajes en contexto de juego manipulativo, las acciones de niños(as) de 4 años muestran planes y procedimientos que evidencian el uso articulado de herramientas cognitivas de formulación de hipótesis y experimentación. Se identifican las transformaciones del funcionamiento cognitivo en los cambios de formatos de representación de conocimientos: exploratorio, intermedio y resolutorio. Participan 60 niños(as), en cuatro intentos de experimentación y dos aplicaciones con intervalos de 15 días. Se privilegia una perspectiva procedural y se apoya en la metodología microgenética. A través de los intentos, el niño elabora premisas, las transforma, las comprueba y extrae conclusiones, re-elabora o genera nuevas premisas, avanzando en su proceso de comprensión.

Palabras clave autores

Cambio cognitivo, formulación de hipótesis, experimentación, razonamiento físico.

Palabras clave descriptores

Solución de problemas, juegos experimentales, cognición en niños.

* Este artículo hace parte del trabajo de comisión de estudios de Magister en Psicología en la Universidad del Valle. Se reconoce y agradece los valiosos aportes de Rebeca Puche Navarro Ph. D. (Universidad del Valle), María Mercedes Garfía-Mila Ph.D. (Universidad de Barcelona) y Carlos Uribe Ph.D. (Universidad del Valle), sin ellos este trabajo no hubiese sido posible.

** Escuela de Psicología, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Avenida Central del Norte, Tunja, Boyacá. Grupo de Investigación Desarrollo Humano, Cognición y Educación. Correo electrónico: navarro.cp@gmail.com

Introducción

Las herramientas cognitivas, que son inherentes a la racionalidad científica, son un vehículo privilegiado para estudiar la manera cómo el niño llega a conocer, comprender y solucionar un problema. Se convierten en el medio para encarar la comprensión del niño a edad temprana, frente a un dispositivo o artefacto que involucra un problema que resuelve porque toca de manera central sus intereses, desencadena fluidamente su atención y su afecto (Puche-Navarro & Ordoñez, 2003; Puche-Navarro, 2000).

Este artículo recupera la forma en que se presenta el funcionamiento de las herramientas cognitivas de formulación de hipótesis y la experimentación en niños y niñas de 4 años, ante una Situación de Resolución de Problemas (SRP) que involucra razonamiento físico, privilegiando una perspectiva procedural, en donde las acciones del niño son el medio para recuperar y acceder al funcionamiento cognitivo. Se pretende evidenciar cómo este funcionamiento se transforma o no en el curso de varios intentos durante el proceso de resolución y llegar así a visualizar la forma en que se produce el cambio representacional frente a la solución de un problema (Karmiloff-Smith, 1984; Karmiloff-Smith & Inhelder, 1974).

La posición que se defiende es la relación entre el uso de las herramientas cognitivas y el cambio representacional en la cual se establece una relación entre estas herramientas y el proceso de resolución de un problema, de modo que se argumente que las herramientas como mecanismos básicos del funcionamiento cognitivo son condiciones que posibilitan los procesos de cambio representacional. Por otra parte, y esto es quizá lo fundamental, que estas relaciones se fertilizan logrando una aparición de las herramientas, así como sus desarrollos más tempranos.

Las herramientas de experimentación y de formulación de hipótesis aparecen ligadas; se pueden definir como el procedimiento sistemático y controlado que se lleva a cabo para modificar el entorno, comprender la aparición de un fenómeno u obtener evidencia suficiente para

aceptar o rechazar la hipótesis (Puche-Navarro, 2000).

En la comprensión del funcionamiento de un artefacto, el niño se aproxima de manera parsimoniosa a los elementos que lo componen. Los explora, los manipula, prevé sus posibilidades; luego pone en relación esos elementos para comenzar a ver el artefacto como un sistema más complejo; genera hipótesis sobre la manera como funcionan esos elementos y sobre el tipo de relaciones con las que pueden interactuar y genera también posibilidades de probar esas hipótesis.

La concepción de herramientas cognitivas que se desarrollan espontáneamente en el niño entre los 2 y 5 años, soporta una concepción del niño en positivo, constructor de conocimiento (Puche-Navarro, 2001, 2000). La inferencia por ejemplo, se muestra en la actividad de los bebés, incluso antes de los 6 meses de vida bajo el paradigma de la violación de expectativas (Aguar & Baillargeon, 1999; Baillargeon, 1994; Needham & Baillargeon, 1993; Spelke, Breinlinger, Mancomber & Jacobson, 1992) y en inferencias de tipo inductivo (Puche-Navarro, 2000; McDonough & Mandler, 1998).

El cambio cognitivo permite visualizar un modelo de funcionamiento que da cuenta de las habilidades y la actividad cognitiva. La variabilidad se contempla como una característica inherente al cambio cognitivo que permite abordar procesos no lineales en el desarrollo, acogiendo un modelo de funcionamiento que da cuenta de las habilidades dinámicas y cambiantes de la actividad cognitiva. Por ello, es importante identificar la naturaleza de los mecanismos de cambio y las modificaciones de procesos de funcionamiento cognitivo a nivel micro (Puche-Navarro, 2003a; Hartelman, Van Der Mass & Molenaar, 1998; Fischer & Bidell, 1998; Karmiloff-Smith, 1992).

Diferentes estudios permiten evidenciar los procesos de cambio representacional de revisión de teoría y de redescrición frente a la comprensión del funcionamiento de sistema de engranajes (ver Tabla A1: Dixon & Bangert, 2002; Bartolini, Boni, Ferri & Garuti, 1999; Hegarty & Kozhevnikov, 1999; Lehrer & Schauble, 1998; Schwartz & Black, 1996; Metz, 1985; Schwartz, 1995).

La revisión de teoría muestra los cambios en las representaciones en respuesta a evidencia rechazada. Esta perspectiva ve en la evidencia el recurso por medio del cual el sujeto clasifica y construye regularidades, rechazando hipótesis cuando los datos así lo indican. El énfasis se realiza en aquellos indicios salientes de la tarea que el niño tiene o no tiene en cuenta en el momento de predecir el funcionamiento del mecanismo que subyace a un sistema de engranajes. Los estudios (Bartolini et al., 1999; Hegarty & Kozhevnikov, 1999; Lehrer & Schauble, 1998) se enfocan en si el niño considera: el tamaño de las ruedas para justificar o explicar la velocidad del sistema; el número de dientes de cada rueda involucrada en el sistema para justificar o explicar la dirección de giro del sistema; la contigüidad y conexión de las ruedas para justificar o explicar la transmisión de movimiento en el sistema.

El la redescrición, el interés es la formación de una nueva representación basándose en la actividad representacional actual en uso. La nueva información se utiliza para enriquecer las representaciones y el cambio es la redescrición de la hipótesis. Los estudios (Dixon & Bangert, 2002; Schwartz & Black, 1996; Schwartz, 1995; Metz, 1985), muestran que la hipótesis se transforma durante el proceso de resolución depurando las inconsistencias e incorporando nuevos elementos y regularidades que le permiten enriquecerse. Por ejemplo, cuando el niño representa en la transmisión de movimiento un sistema de engranajes, las preguntas frente a la dirección de giro pueden resolverse considerando el mecanismo de transmisión como un sistema "par" o "impar" de engranajes entero o completo, sin segmentar el sistema lo que implica una representación que enriquece las relaciones establecidas con respecto a que ruedas dentadas contiguas giran en sentidos contrarios.

La diferencia entre el cambio desde los procesos de revisión de teoría y el cambio desde los procesos de redescrición, es el estatuto del hecho empírico. En los procesos de revisión de teoría la evidencia desencadena el cambio, el error que encuentra el dato anómalo; al contrario en los procesos de cambio de redescrición, el cambio es endógeno

y no depende exclusivamente de la evidencia. Se realizan elaboraciones más allá de la información que está *embedded* o que está implícita, para hacerla explícita, útil y convertirla en conocimiento (Dixón & Bangert, 2002). En síntesis, la evidencia es necesaria mas no determinante.

Dixon y Bangert (2002), plantean que la revisión de teoría produce cambios cuando las representaciones del sujeto son erróneas y lo confirma con los indicios y la evidencia empírica que le ofrece la situación. Pero cuando las representaciones son altamente precisas, el cambio es producido por procesos de redescrición. Aparentemente, la existencia de los dos procesos no es mutuamente excluyente, pero son usados en diferentes situaciones.

Los estudios experimentales que involucran sistemas de engranajes van desde aquellos que usan dibujos (Bartolini et al., 1999; Hegarty & Kozhevnikov, 1999; Schwartz & Black, 1996; Schwartz, 1995), como en SRP manipulativas (Dixon & Bangert, 2002; Metz, 1985) y en artefactos contemplativos (Lehrer & Schauble, 1998). La representación del mecanismo del sistema de engranajes exige al niño cuestionarse sobre el funcionamiento del mismo y esos cuestionamientos se traducen en cada una de las justificaciones (Lehrer & Schauble, 1998; Schwartz, 1995; Schwartz & Black, 1996; Bartolini et al., 1999; Hegarty & Kozhevnikov, 1999), gráficos (Metz, 1985) y/o acciones (Dixon & Bangert, 2002), que permiten recuperar las hipótesis que se formula acerca de cómo o por qué el mecanismo funciona y por consiguiente el tipo de información que está considerando relevante para comprender el mecanismo.

La representación del sistema de engranajes, exige al niño la formulación de hipótesis y experimentación (Dixon & Bangert, 2002; Schwartz & Black, 1996; Schwartz, 1995; Metz, 1985) o las inferencias de tipo causal o temporal (Bartolini et al., 1999; Hegarty & Kozhevnikov, 1999; Lehrer & Schauble, 1998) con respecto a: a) la necesidad de contacto entre los dientes de una rueda dentada y la otra para que pueda transmitirse el movimiento; b) la relación de número de dientes y/o tamaño de la circunferencia para determinar

el número de revoluciones o vueltas (velocidad) que se genera en el sistema de acuerdo a las ruedas involucradas; c) el número de ruedas dentadas que se involucran en el sistema (par o impar) para determinar la dirección del movimiento de ruedas dentadas contiguas y distantes.

Método

Participantes

La muestra consta de 60 niños y niñas en el rango de edad de 4 años. La muestra se obtiene de los Jardines Infantiles de Cali (Colombia), con participación voluntaria y con selección al azar.

Instrumento y materiales

Se diseña y pilotea una SRP como artefacto manipulativo, con arquitectura medio-fin; es una situación abierta, en contexto de juego y con un tema significativo conocido para el niño. Busca que el niño(a) arme un sistema de engranajes teniendo en cuenta la estructura del mecanismo y le dé una funcionalidad para alcanzar un objetivo, se recuperan las secuencias de acciones para identificar el protocolo experimental en el cual el niño(a) pone a prueba sus hipótesis acerca del mecanismo, por lo cual la comprensión no se liga al área de las matemáticas o a contenidos específicos curriculares.

Las variables o factores que se trabajan son: a) concatenación y conexión de las ruedas dentadas; b) número de ruedas dentadas; c) número de vueltas que puede dar a cada rueda dentada ubicada como inicial; d) dirección en que debe dirigir las vueltas de la rueda final en relación con la inicial; e) tamaño de las ruedas dentadas y/o número de dientes de cada rueda que en la SRP es directamente proporcional al tamaño.

La SRP Buscando a Nemo, involucra un sistema de engranajes removibles en un tablero de 65 x 35 cm (ver Figura 1), que permite que el niño arme configuraciones de engranajes abiertas (cadenas largas o cortas). El tablero muestra un recorrido con seis estaciones como puntos de referencia: un

destino final deseado (Nemo), cuatro estaciones intermedias (peces en distintos lugares) y un destino obstáculo (Tiburón).

El sistema de engranajes incluye cinco ruedas dentadas removibles: dos ruedas de 12cm con 44 dientes, una rueda de 6cm con 22 dientes, dos ruedas de 3cm con 11 dientes. Además, se incluye fija en tablero una cadena dentada de 72 dientes conectada a una de rueda de 6cm con 22 dientes. Las ruedas poseen sistema de balines para el giro y de imán para fijarse al tablero de lámina metálica. Cada rueda dentada seleccionada posee una restricción de giro indicada por una flecha, entonces la rueda seleccionada como inicial o impulsora sólo puede girar según lo indique la flecha (derecha o izquierda).

La tarea del niño consiste en armar un sistema de engranajes con los elementos dados en la tarea y ayudar a que Marly (que está fijo en la cadena dentada) se traslade desde el punto de partida hasta la estación deseada, Nemo. El niño debe tener en cuenta las restricciones del juego, debe usar mínimo dos de las ruedas removibles y la rueda seleccionada como impulsora sólo debe ser girada una vez (una vuelta) y en el sentido que indique la flecha que ésta posea (izquierda o derecha). De acuerdo con la configuración del sistema de engranajes, Marly se desplaza a las estaciones intermedias, el destino obstáculo o el destino final deseado.

Diseño y procedimiento

Se plantea un estudio experimental exploratorio con diseño intrasujeto e intersujeto que permita comparar el desempeño del mismo sujeto en diferentes mediciones individuales ante una tarea. Apoyado en el método microgenético que permite un abordaje exhaustivo de los desempeños del niño para recuperar el funcionamiento cognitivo, en un periodo corto de tiempo, establecimiento mediciones a nivel cuantitativo y cualitativo, determinando relaciones legales entre los componentes representacionales (Puche-Navarro, 2003; Miller & Coyle, 1999; Siegler, 1998; Siegler & Crowley, 1991).



FIGURA 1
Situación de Resolución de Problemas Buscando a Nemo

Fuente: fotografía tomada por la autora (2008).

La aplicación de la SRP involucra dos fases: a) Fase de familiarización: un intento, que permite que los niños obtengan información y experiencia previa sobre la función del mecanismo e incorporar la consigna y las restricciones. b) Fase Experimentación: cuatro intentos, que dan cuenta de la comprensión de la función y la estructura del mecanismo de los sistemas de engranajes.

La aplicación es individual, con una duración de 25 minutos aproximadamente, con intervención no directiva por parte del investigador y sin retroalimentación. Se realizan dos mediciones con un intervalo de 15 días entre una y otra, para determinar que las diferencias entre una medición y otra en un mismo sujeto, no se deben a factores asociados con el desarrollo evolutivo de los niños, ni tampoco corresponde a artificios metodológicos generados por la SRP teniendo en cuenta la posibilidad de aprendizaje y/o saturación por el número de intentos. Las sesiones fueron grabadas en video y los desempeños se registran en una rejilla de observación.

La Tabla A2 muestra un resumen de los puntajes y criterios con los cuales se califican los desempeños “a partir de una escala de medición de nueve casillas que traducen distancias numéricamente iguales, representando distancias empíricamente iguales y por lo tanto equidistantes entre sí. La unidad de medida mínima es 1 y el punto de llegada es nueve” (Puche-Navarro, 2003b). Este procedimiento metodológico permite recuperar y comparar distintos momentos en una misma condición de resolución y lograr una mejor descripción de los itinerarios y cambios durante el proceso de resolución.

Resultados

Durante el proceso de resolución en la situación Buscando a Nemo, el niño realiza desempeños clasificados en tres fases: exploratoria, intermedia y resolutoria. En la fase exploratoria, el niño toma de manera aislada los elementos que componen

el sistema de engranajes (cadena dentada, poleas, ruedas dentadas, dientes o piñones y/o personajes de la historia) sin lograr articularlos o relacionarlos en un todo que permita entender el funcionamiento del mecanismo completo del sistema. A esta fase corresponden los puntajes del 1 al 3.

La fase intermedia, se caracteriza por un esbozo de las relaciones entre los elementos del sistema, en esta fase el niño inicia el establecimiento de relaciones de interacción de ruedas dentadas como medio para la transmisión de movimiento en un mecanismo físico, aunque no se logre el objetivo de la tarea. A esta fase corresponden los puntajes del 4 al 6.

En la fase resolutoria, el niño incorpora a la interacción entre las ruedas dentadas otros componentes de la estructura del mecanismo que son la dirección de giro y/o la velocidad de vuelta. Esta incorporación de elementos no sigue un or-

den preestablecido. A esta fase corresponden los puntajes del 7 al 9.

Durante el proceso de resolución predomina la fase resolutoria que agrupa más de la mitad de los niños en las dos aplicaciones, en la primera aplicación un 50.3% y en la segunda aplicación un 73%. Le sigue la fase intermedia, se ubican el 30.3% de los niños en la primera aplicación y el 20% en la segunda aplicación. En la fase exploratoria el 19.3% de los niños en la primera aplicación y el 6% en la segunda aplicación.

De aquí en adelante, el análisis presenta los cuatro intentos de resolución que corresponde a la fase de experimentación. La prueba ANOVA ($F= 2.809$, $df= 3$, $p< 0.05$), arroja diferencias significativas entre los desempeños de los niños. Se encuentran diferencias significativas entre el primero y el cuarto intento y diferencias significativas en los desempeños de los niños entre el segundo

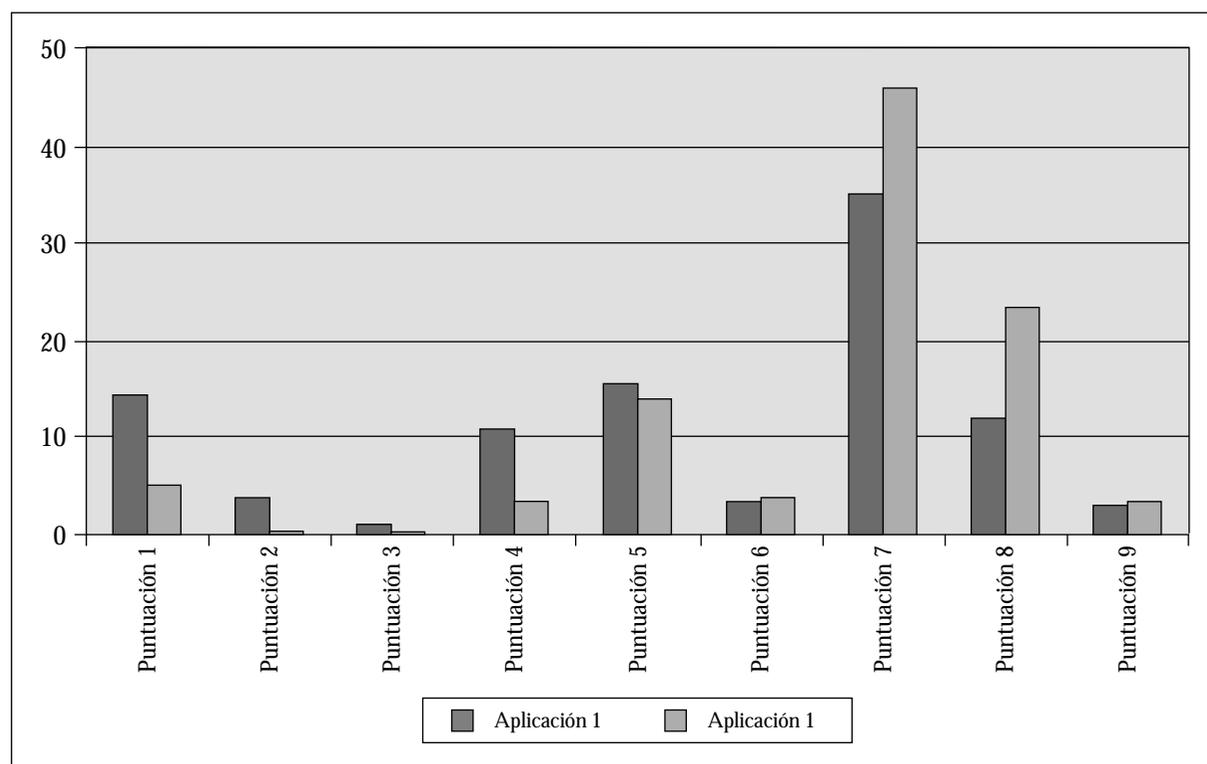


FIGURA 2

Porcentaje de aparición de los nueve puntajes correspondientes a los desempeños de los niños durante el proceso de resolución en la primera y segunda aplicación

Fuente: elaboración propia.

y cuarto intento de la primera aplicación (prueba Tukey HSD, $P = 0,0035$). En la segunda aplicación no se encontraron diferencias significativas entre los intentos ($f = 0.763$, $df = 3$, $p > 0.05$), lo que permite hablar de estabilidad de los resultados.

Las distribuciones porcentuales de aparición de los nueve puntajes en las dos aplicaciones (ver Figura 2), muestran una disminución en la presentación de desempeños de los puntajes 1 y 2 en la segunda aplicación. Estos desempeños de la fase exploratoria se identifican porque mueven ruedas que no están conectadas entre sí, en la aplicación 1 con 14.3% vs. aplicación 2 con 5%, y realizan exploraciones para establecer una relación entre las ruedas y los personajes de la historia a través de la cercanía, pero sin establecer contacto entre ellas, en la aplicación 1 con 4% y en la aplicación 2 con 0.33%, respectivamente. En el puntaje 5 de la fase intermedia durante la segunda aplicación se muestra una disminución, en la aplicación 1 con 16% vs. aplicación 2 con 14%. Estos desempeños configuran y crean sistemas de engranajes de dos o más ruedas dentadas conectadas entre sí pero desarticuladas del sistema dado fijo en la tarea.

Los puntajes 7 y 8 que corresponden a la fase resolutoria, en la segunda aplicación muestran un incremento. El puntaje 7, en la aplicación 1 con 35% vs. aplicación 2 con 46%, muestra desempeños que establecen relaciones de interacción de las ruedas dentadas e incorporan otros elementos que permiten “controlar” la dirección de giro o la velocidad de movimiento, permitiendo que el personaje de la historia se desplace hasta las estaciones intermedias del recorrido dispuesto en la tarea. El puntaje 8, en la Aplicación 1 con 12% vs. aplicación 2 con 23%, muestra desempeños que establecen relaciones entre todos los elementos de la estructura del mecanismo de los engranajes, esta integración permitir que el personaje de la historia se desplace hasta el destino final (Nemo) del recorrido dispuesto en la tarea lograr el objetivo (encontrar a Nemo). La Tabla 3 muestra las medias y desviación estándar de los desempeños.

La prueba ANOVA 2X2, permite determinar que las diferencias significativas se presentan en función de: a) la variable sujetos $F(59, 236) = 7.06$,

$p < 0.05$; b) la variable intento $F(4, 236) = 30.94$, $p < 0.05$; c) la variable aplicación $F(1, 59) = 37.82$, $p < 0.05$. Lo que permite evidenciar la multiplicidad de factores que inciden en el cambio, en donde las diferencias entre los sujetos es la mayor fuente de varianza seguida por los intentos.

TABLA 3

Distribución de medias y desviación estándar de los desempeños a través de las aplicaciones y diferentes intentos

Intento	Aplicación 1		Aplicación 2	
	Media	DE	Media	DE
1	5.4	2.3	6.7	1.4
2	5.7	2.2	6.5	1.7
3	6.1	2	6.8	1.7
4	6.5	1.7	6.9	1.4

DE = Desviación estándar.

Fuente: elaboración propia.

Discusión

La racionalidad científica es vista como la elaboración de conocimientos y comprensiones ligadas al uso de los procesos propios del conocer que se pueden llamar herramientas cognitivas (Puche-Navarro & Ordóñez, 2003), entonces ¿cuáles son las herramientas cognitivas que se evidencian y privilegian durante el proceso de resolución en la SRP Buscando a Nemo, que permiten caracterizar el funcionamiento cognitivo del niño de 4 años?

Durante el proceso de resolución se evidencian que las herramientas cognitivas que permiten caracterizar el funcionamiento cognitivo son la formulación de hipótesis y la experimentación. La formulación de hipótesis está presente en el proceso de resolución de problemas y permite identificar cada uno de los elementos de la estructura del mecanismo (diferente número de ruedas dentadas, número de piñones o dientes de las ruedas, tamaños diferentes de ruedas dentadas). Igualmente permite identificar los momentos en que el niño(a) pone en relación las configuraciones

armadas libremente, para generar el mecanismo de transmisión que permite dar funcionamiento al sistema de forma que se logre resolver el problema que plantea la situación.

La experimentación hace énfasis tanto en la sistematización de las relaciones establecidas con respecto a la interacción de los dientes de cada rueda, como en el establecimiento de relaciones cualificadas entre el tamaño y dirección de giro de la rueda seleccionada como impulsora y el número de ruedas de la configuración (sistema par o impar). El procedimiento realizado ante la SRP le permite al niño evaluar y usar la evidencia física de movimiento que es a posteriori (también en Dixon & Bangert, 2002), de forma tal que inicia un proceso en el cual confirma o rechaza sus hipótesis a través de la formulación que ha realizado de las mismas en la experimentación. La experimentación supone entonces, poner en relación de manera muy clara dos o más elementos que permiten re-descubrir el mecanismo generador de la transmisión de movimiento entre los componentes del sistema.

A través de la formulación de hipótesis articulada con la experimentación (Puche-Navarro & Ordóñez, 2003), el niño re-crea sus hipótesis para llegar a representar el mecanismo del sistema de engranajes en funcionamiento. Por ejemplo, Natalia en su proceso de resolución durante la familiarización selecciona algunas ruedas y cambia su ubicación en diferentes partes del tablero (puntaje 2). Durante la Fase de experimentación, en el primer y segundo intento gira ruedas desarticuladamente (puntaje 1) lo cual no le genera ningún desplazamiento de Marly, Natalia ha evaluado sus hipótesis con respecto al movimiento que generan las ruedas de diferentes tamaños y el lugar de ubicación de las mismas en el tablero.

Luego en el tercer y cuarto intentos coloca en relación de interacción ruedas dentadas (puntaje 4), en el cuarto intento dos ruedas grandes y en el quinto intento una rueda grande con una pequeña, incorporando así relaciones de interacción y evaluando relaciones de tamaño de las ruedas en un sistema segmentado. Los desempeños de Natalia permiten recuperar los elementos que descarta, a partir de reconsiderar información empleada en

hipótesis de intento anteriores y que integra a sus hipótesis (por tener en cuenta nuevos elementos de la tarea), que luego sistematiza y pone a prueba en la experimentación según el cumplimiento de los resultados esperados.

Natalia usa la evidencia física de movimiento que obtiene de la experimentación y evalúa las hipótesis que formula en cada momento de resolución de la tarea. La evidencia, entonces, cambia en función de la herramienta cognitiva y por consiguiente hace que la situación sea más clara y contundente para el niño, aun en resoluciones no exitosas (Puche-Navarro, 2003b).

Las hipótesis muestran una dinámica entre la compresión que el niño logra de la tarea y los resultados concretos del funcionamiento del mecanismo. Entre los elementos que generalmente los niños descartan de sus hipótesis, se pueden mencionar: colores de las ruedas, cercanía de ruedas dentadas sin contacto (entre ruedas dentadas o entre ruedas dentadas y personajes de la tarea), interacción entre dos o más ruedas que no entran en contacto con la rueda fija.

Entre los elementos que los niños suelen incorporar en sus hipótesis, se encuentran: el papel que juegan los dientes o piñones de las ruedas en la transmisión de movimiento, el contacto y la interacción de las ruedas dentadas incluyendo la rueda fija, la relación entre el número de ruedas y la dirección de giro seleccionada para la rueda impulsora, la relación entre el tamaño de la rueda impulsora y el desplazamiento del personaje (rueda grande= mayor desplazamiento; rueda pequeña= menor desplazamiento) y/o la relación correspondiente al tamaño de las ruedas con el número de vueltas (a medida que la rueda es más grande, se requiere un menor número de vueltas).

Los desempeños y planes de acción de los niños y niñas ante la SRP diseñada para este estudio, evidencian que el niño pone a prueba sus hipótesis sobre la generación y transmisión del movimiento que le permiten generar funcionamiento en el sistema de engranajes. El niño establece una representación adecuada del mecanismo cuando logra integrar todos los elementos relevantes del

mecanismo: número, tamaño y contacto de las ruedas, vinculado a su vez con la dirección y velocidad de la transmisión de movimiento. Los resultados de cada una de sus acciones sobre el artefacto, se convierten en evidencia que apoya o no sus hipótesis y al mismo tiempo guían las correcciones y la generación de nuevos procedimientos (Navarro-Puche, 2003a).

Pero ¿dan cuenta las herramientas de formulación de hipótesis y experimentación de diferentes tipos de formatos en los cuales se representa el conocimiento durante el proceso de resolución de la tarea Buscando a Nemo? Teniendo en cuenta los planes de acción de los niños durante el proceso de resolución, sí fue posible identificar algunas representaciones con diferentes tipos de componentes o características.

Primero predomina una representación “encapsulada” que no permite al niño el acceso a la información que la situación le suministra. Es lo que se ha denominado una fase exploratoria. En las representaciones esbozadas en esta fase el niño toma aisladamente los elementos que componen la tarea, tales como características físicas de las ruedas como el color, ubicación de las ruedas dentro del tablero, personajes, entre otros, así como también los conocimientos previos que tiene el niño sobre el movimiento de ruedas o llantas de carro.

La representación “encapsulada” permite la exploración inicial del niño sobre la tarea (Thornton, 1999, 1998) en cuanto a identificación de medios, incorporación de las restricciones, así como los indicios y características salientes del artefacto. Igualmente permite un primer esbozo de coordinación entre la concatenación y la conexión que existe entre los dientes de los dos elementos dados en la SRP, aunque no pueda resolver el problema (identificar esta relación equivale al criterio de puntuación 3).

Luego el niño integra nueva información sobre el funcionamiento real de la tarea aunque aún se conserva cierto “encapsulamiento”, ya que persiste en representaciones que en la acción no ofrecen el resultado esperado. Lo importante es que el niño se representa la interacción de ruedas que son dentadas como elemento fundamental para

la transmisión de movimiento, logrando así darle funcionalidad al sistema e incorpora el lugar de ubicación de las ruedas, la interacción entre los dientes de las ruedas, la generación y la transmisión de movimiento a través del sistema de engranajes segmentado o completo aunque no logre el objetivo de la tarea. Esto se ha denominado fase intermedia.

En la fase intermedia el niño esboza por ejemplo una representación de interacción entre los dientes o piñones de dos o más ruedas (como un sistema fragmentado), lo que no permite que haya un desplazamiento. Igualmente esboza una representación de interacción de todos los elementos del sistema (como un sistema completo) pero no incorpora aún el papel que cumple el número de ruedas y el tamaño de las mismas en el funcionamiento del sistema de engranajes, permitiendo el desplazamiento del personaje pero a estaciones no deseadas.

El niño en la fase intermedia, representa la interacción de las ruedas dentadas como la condición necesaria sin la cual no se genera la transmisión de movimiento, lo que marca la transición. A partir de este momento el niño puede evaluar la evidencia física de movimiento e iniciar un proceso de sistematización de la información nueva que recoge para aceptar o rechazar sus hipótesis.

La configuración de engranajes construida, que transmite el movimiento, no significa necesariamente que el niño resuelva exitosamente el problema. Aquí el niño se enfrenta a otro desafío que es el de establecer las relaciones que le permitan darle funcionamiento al sistema pero teniendo en cuenta los otros elementos de la estructura del mecanismo. Esos elementos son la dirección de giro y la velocidad de vuelta. Esos dos elementos le exigen ahora al niño evaluar nuevamente la información ya almacenada y la nueva para incorporar otros elementos que le permitan no sólo la transmisión sino generar “control” sobre hacia donde y/o hasta donde se genere el movimiento del sistema, de forma que pueda resolver el problema.

Es en lo que se denomina fase resolutoria, donde se observa en el niño una total flexibilidad para adaptarse a las circunstancias de la tarea. El resul-

tado son representaciones que incorporan los medios y las restricciones, así como los otros dos elementos de la estructura del mecanismo que son la dirección de giro y la velocidad de vuelta. Ahora el niño arma configuraciones en las que todos los elementos están en interacción y se toman decisiones con respecto a cuáles ruedas se seleccionan según el tamaño, dónde se ubica según el tamaño y cuántas se ubican.

A través de las diferentes fases de resolución exploratoria, intermedia y resolutoria, se evidencia, por una parte, los diferentes formatos del conocimiento en la representación del mecanismo de un sistema de engranajes. Y por otra parte, la flexibilidad que tiene el niño de modificar sus representaciones de acuerdo con la evidencia que la situación le presenta en cada momento de la tarea.

¿Se puede decir que los movimientos característicos del cambio cognitivo de este estudio muestran una tendencia creciente progresiva? Durante los intentos de resolución se muestran movimientos entre las fases que permiten evidenciar una disminución de la fase exploratoria, estabilidad en la fase intermedia e incremento en la fase exploratoria. Pero esto no quiere decir que existe un movimiento creciente progresivo, sino que durante los intentos el funcionamiento de los niños sufre movimientos entre las diferentes fases, mostrando reorganizaciones sucesivas que al final permiten el esbozo de representaciones más enriquecidas (Puche-Navarro, 2003a; Dixon & Bangert, 2002; Karmiloff-Smith, 1992).

El niño frente al artefacto manipulativo que se le presenta y que involucra un problema que él quiere resolver, evidencia el uso de herramientas cognitivas que no terminan en el momento que el niño resuelve la situación. La realidad es que él sigue reflexionando y es posible que al siguiente intento vuelva atrás evidenciando movimientos dinámicos que nada tienen que ver con un acumulativo creciente (Puche-Navarro, 2000). Como plantean DeLoache y Brown (1999), “la reorganización y la mejora de los procedimientos no es únicamente una respuesta al fracaso; a menudo se produce cuando el niño dispone de procedimientos que funcionan de forma adecuada, pero intenta mejorarlos”.

En el caso de Jean Carlo, en la fase de familiarización con puntaje 2, coloca ruedas dentadas cerca de los peces o encima de ellos. Incorpora en su hipótesis la idea de cercanía entre la rueda dentada y los indicios de la tarea (peces), pero aún no se incorporan las restricciones de la tarea. Luego en la fase de experimentación, en el primer intento con puntaje 7, realiza un movimiento ascendente al seleccionar dos ruedas dentadas grandes y colocarlas en relación de interacción con el sistema dado en la SRP, desplazándose hasta el Tiburón. En este intento la representación del niño incorpora dos elementos de la estructura de un mecanismo completo: relaciones de interacción y relaciones de tamaño (en ruedas grandes, con mayor número de dientes).

Jean Carlo, en un segundo intento con puntuación 5, movimiento descendente, configura un sistema de dos ruedas pequeñas desplazándose al Tiburón. Su hipótesis mantiene la idea de interacción y tamaño de las ruedas, pero descarta el tamaño grande de las ruedas e incluye el tamaño pequeño. Luego en un tercer intento con puntuación 8, muestra un movimiento ascendente al configurar un sistema completo que le permite exitosamente que Marly encuentre a Nemo. Su hipótesis incorpora la interacción entre las ruedas grandes que antes había considerado (aunque no hubiera sido exitoso el resultado del segundo intento), pero incorporando como una información nueva la dirección de giro izquierda para un sistema par.

Finalmente, en el cuarto intento con puntuación 5, muestra un movimiento descendente incorporando en su hipótesis configuraciones de sistemas impares, lo que necesariamente le exige evaluar la información nueva y la evidencia en lo que respecta a la dirección de giro de la rueda impulsora.

Los desempeños de Jean Carlo, tanto en resoluciones exitosas como no exitosas, evidencian reorganizaciones sucesivas de la información ya conocida y de la información nueva que incorpora a sus representaciones, incorpora o descarta ciertos elementos que le permiten depurar las inconsistencias y establecer regularidades, una reflexión que se presenta en proceso o línea dinámica con

movimientos ascendentes, descendentes o estables; esta variabilidad muestra que los niños pueden pasar de los niveles de resolución o explícitos a los niveles transicionales e incluso volver a los niveles implícitos independientemente de la edad (Fischer & Vides, 1998; Hartelman, Van der Mass & Molenaar, 1998).

Referencias

- Aguiar, A. & Baillargeon, R. (1999). 2,5 month-old infants' reasoning about occlusion events. *Cognitive Psychology*, *39*, 116-157.
- Baillargeon, R. (1994). How do infants learn about the physical world? *Current Directions*, *3*, 133-140.
- Bartolini, M. G., Boni, M., Ferri, F. & Garuti, R. (1999). Early approach to theoretical thinking: Gears in primary school. *Educational Studies In Mathematics*, *39*, 67-87.
- DeLoache, J. & Brown, A. (1999). La temprana aparición de las habilidades de planificación en los niños. En J. S. Bruner & H. Haste (Comps.), *La elaboración de sentido* (pp. 105-124). Barcelona: Paidós.
- Dixon, J. & Bangert, A. (2002). The prehistory of discovery: Precursors of representational change in solving gear problems. *Developmental Psychology*, *38*(6).
- Fischer, K. W. & Bidell, T. (1998). Dynamic development of psychological structures in action and thought. En R. M. Lerner (Ed.), *Handbook of child psychology, Vol. 1, Theoretical models of human development* (pp. 467-561). New York: Wiley.
- Hartelman, P., Van Der Mass, H. & Molenaar, P. (1998). Detecting and modeling development transitions. *British Journal of Development*, *24*, 267-275.
- Hegarty, M. & Kozhevnikov, M. (1999). Spatial abilities, working memory and mechanical reasoning. In J. S. Gero & B. Tversky (Eds.), *Visual and Spatial Reasoning in Design* (pp. 221-240). Sydney, Australia: Key Center for Design Computing and Cognition, University of Sydney.
- Karmiloff-Smith, A. (1992). *Beyond modularity: A development perspective on cognitive science*. Cambridge, MA: MIT Press.
- Karmiloff-Smith, A. (1984). Children's problem solving. In M. Lamb, A. Brown & B. Rogoff (Eds.), *Advances in Development Psychology*, Vol. 3, (pp. 39-89). Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Karmiloff-Smith, A. & Inhelder, B. (1974). If you want to get ahead, get a theory. *Cognition*, *3*, 195-212.
- McDonough, L. & Mandler, J. (1998). Inductive generalization in 9 and 11 months olds. *Developmental Science*, *1*(2), 227-232.
- Metz, K. (1985). The Development of children's problem solving in gears Task: A problem space perspective. *Cognitive Science*, *9*, 431-471.
- Miller, P. H. & Coyle, T. R. (1999). Developmental change: Lessons from microgenesis. In E. K. Scholnick, K. Nelson, S. A. Gelman & P. H. Miller (Eds.), *Conceptual Development. Piaget's Legacy* (pp. 209-239). NJ: Lawrence Erlbaum Associates, Publishers.
- Needham, A. & Baillargeon, R. (1993). Intuitions about support in 4.5 month-old infants. *Cognition*, *7*, 121-148.
- Puche-Navarro, R. (2000). *Formación de herramientas cognitivas científicas en el niño pequeño*. Cali: Arango Editores.
- Puche-Navarro, R. & Ordóñez, O. (2003). Pensar, experimentar y volver a pensar. Un estudio sobre el niño que experimenta con catapultas. En R. Puche-Navarro (2003), *El niño que piensa y Vuelve a pensar* (pp. 88-177). Cali: Arango Editores.
- Puche-Navarro, R. (2003a). Procesos de desarrollo, cambio y variabilidad. En R. Puche-Navarro (2003), *El niño que piensa y vuelve a pensar* (pp.17-50). Cali: Artes Gráficas del Valle, Editores.
- Puche-Navarro, R. (2003b). La actividad mental del niño: una propuesta de estudio. En B. C. Orozco (Comp.), *El niño: científico, lector y escritor, matemático* (pp. 17-40). Cali: Arango Editores.
- Lehrer, R. & Schauble, L. (1998). Reasoning about structure and function: Children's conceptions of gears. *Journal of Research in Science Teaching*, *35*(1), 3-25.
- Schwartz, D. (1995). The emergence of abstract representations in dyad problem solving. *The Journal of the Learning Science*, *4*(3), 321-354.

- Schwartz, D. & Black, J. B. (1996). The shuttling between depictive models and abstract rules: Induction and fallback. *Cognitive Science*, 20, 457-497.
- Siegler, R. S. (1998). *Children's Thinking* (3rd ed.). Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall.
- Siegler, R. S. & Crowley, K. (1991). The microgenetic method. A direct means for studying cognitive development. *American Psychologist*, 46(6), 606-620.
- Spelke, E., Breinlinger, K., Mancomber, J. & Jacobson, K. (1992). Origins of knowledge. *Psychological Review*, 99(4), 605-632.
- Thornton, S. (1998). *La resolución infantil de problemas*. Madrid: Morata.
- Thornton, S. (1999). Creating the conditions for cognitive change: The interaction between task structures and specific strategies. *Child Development*, 70, 588-603.

Apéndice A

TABLA 1

Cambio cognitivo y herramientas cognitivas en dispositivos o tareas de resolución que involucran sistemas de engranajes.

Estudios Experimentales	Concepción de proceso de cambio	Concepción de la comprensión vista desde la Perspectiva de Herramientas cognitivas de Puche-Navarro
Metz (1985)	El proceso de redescipción permite re-elaborar la hipótesis inicial para generar estrategias de niveles más sofisticados (en la dirección de giro). Fuente del cambio interna	La comprensión del sistema de engranajes está ligada a un modelo mental que permite explorar la herramienta cognitiva (formulación de hipótesis y experimentación).
Schwartz (1995) Schwartz & Black (1996)	El proceso de redescipción permite al niño incrementar el nivel de abstracción de las representaciones basado en el proceso de repetición de solución del problema, que permite ir depurando las características del problema que no son esenciales, por ejemplo, la textura de los engranajes y codificando las características esenciales, por ejemplo, la dirección en que gira cada rueda dentada (en la dirección de giro). Fuente del cambio interna	La comprensión del sistema de engranajes está ligada al nivel de abstracción de la representación mental que permite explorar la herramienta cognitiva (formulación de hipótesis y experimentación).
Lehrer & Schaulble (1998)	El proceso de revisión de teoría permite al niño formular hipótesis, luego hace pruebas empíricas en la que rechazan sus hipótesis. Muchos niños modifican sus hipótesis para reflejar un nuevo resultado (en la velocidad). Fuente del cambio externa	La comprensión del sistema de engranajes está ligada a una herramienta cognitiva (formulación de hipótesis; inferencia espacial y deductiva).
Hegarty & Kozhevnikov (1999)	El proceso de revisión de teoría permite elaborar hipótesis con la evidencia que incorpora o descarta (en transmisión de movimiento). Fuente del cambio externa	La comprensión del sistema de engranajes está ligada a una herramienta cognitiva (formulación de hipótesis) y a la capacidad de trabajo espacial de la memoria.
Bartolini, Boni, Ferri & Garuti (1999)	Énfasis sobre la construcción social del conocimiento y en la mediación semiótica por medio de los artefactos culturales (los engranajes como artefacto en contexto escolar). Fuente del cambio externa	La comprensión del sistema de engranajes está ligada a una intervención directa del docente, a la zona de desarrollo próximo y al contenido curricular. Pero es el alumno quien se formula sus propias hipótesis frente al mecanismo.
Dixon & Bangert (2002)	El proceso de revisión de teoría para descubrimientos del sistema físico. El proceso de redescipción para estrategias de secuencias alternadas (más sofisticadas). Fuente de cambio interna y externa pero no simultánea	La comprensión del sistema de engranajes está ligada al modelo mental que permite explorar la herramienta cognitiva (formulación de hipótesis y experimentación).

Fuente: elaboración propia

Apéndice B

TABLA 2

SRP Buscando a Nemo: Criterios para operacionalizar la herramienta cognitiva de formulación de hipótesis y experimentación y las fases de Implícito (Puntaje 1-3), Transicional (Puntaje 4-6) y Resolutorio (Puntaje 7-9).

Puntaje	Criterio
1	No conecta los engranajes para transmitir el movimiento, asume la tarea por elementos aislados y desarticulados.
2	Asume la existencia de una articulación entre los elementos de la tarea pero sin tener en cuenta la estructura del mecanismo.
3	Asume la existencia de una articulación entre la cadena dentada y la rueda dentada contigua, es decir esboza la relación de transmisión de movimiento entre estructuras dentadas simples contiguas pero sin tener en cuenta el objetivo de la tarea. Fragmenta el sistema a dos elementos que ya se le presentan contiguos.
4	Concatena y conecta los dientes de dos o más ruedas dentadas y genera la transmisión de movimiento pero fragmenta los elementos del mecanismo, entonces no tiene en cuenta todos los elementos que componen el mecanismo como parte del sistema de engranajes que le permiten lograr el objetivo.
5	Concatena y conecta las ruedas dentadas del sistema con la rueda dentada final y la cadena dadas en la tarea generando y transmitiendo movimiento aunque no logre alcanzar el objetivo de la tarea. Empezando a esbozar relaciones que permiten dar cuenta del mecanismo como un sistema entero en el que todos los elementos tienen una función por cumplir.
6	Reconoce que la transmisión del movimiento es la base del mecanismo pero que en él se involucran otros aspectos que tienen que ver con el número de las ruedas dentadas o con el tamaño de las ruedas dentadas que involucra en el sistema. Entonces realiza correcciones y combinaciones diferentes en el siguiente intento que involucran disminución o aumento del número de elementos; o cambio de lugar de las ruedas de acuerdo a los tamaños; o cambio de la dirección de giro de la rueda impulsora.
7	Selecciona algunas de las ruedas porque reconoce que no es necesario usar todas las ruedas para resolver la tarea y fuera de la transmisión de movimiento establece una relación adicional sea en cuanto a la dirección de giro o sea en cuanto a la velocidad del movimiento.
8	Arma su combinación asignando a unos elementos función de transmisión de movimiento y a otra función de dirección y de velocidad como parte de un mismo mecanismo.
9	Arma su combinación asignando a unos elementos función de transmisión de movimiento y a otra función de dirección y de velocidad como parte de un mismo mecanismo pero estableciendo relaciones inversas que le permitan llevar al personaje (Marly) del destino final al punto de partida.

Fuente: elaboración propia