

# Reconocimiento de fuerzas y resolución en voz alta. Un método de análisis.

Alejandra Rosolio<sup>1</sup>, Patricia Sánchez<sup>1</sup>, Rosana Cassan<sup>1</sup>, Elena Llonch<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Conceptualización en Educación en Ciencias, Escuela de Formación Básica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Av. Pellegrini 250, CP 2000, Rosario, Santa Fe, Argentina.

**E-mail:** rosolio@fceia.unr.edu.ar

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

## Resumen

El concepto de fuerza es el elemento central de las leyes de Newton de la Dinámica y su reconocimiento es fundamental para la elaboración de un adecuado diagrama de cuerpo libre. Para la construcción del mismo es necesario reconocer los elementos que conforman el sistema en estudio y las fuerzas que se ejercen sobre ellos. En este trabajo se presenta un enfoque metodológico utilizado para analizar los protocolos de pensamiento en voz alta mientras los estudiantes reconocen las fuerzas ejercidas sobre diversos cuerpos en equilibrio. Se incluye, además, un caso como representativo del procedimiento de análisis propuesto, en el cual se caracterizan los modelos mentales desarrollados, los operadores que los generan y los sesgos que los afectan.

**Palabras clave:** Fuerzas, Pensamiento en voz alta, Modelos mentales, Sesgos, Estudio de caso.

## Abstract

The force concept is the core of Newton's laws of Dynamics and its recognition is essential for the development of an appropriate free-body diagram. It is necessary to recognize the elements of the system under study and the forces exerted on them for an appropriate construction. This article presents a methodological approach to analyze the thinking-aloud protocols of students while they recognize the forces exerted on different bodies in equilibrium. The analysis of a case study representative of the procedure developed, in which mental models, operators and biases that affect them are characterized, is also included.

**Keywords:** Forces, Thinking-aloud, Mental models, Biases, Case study.

## I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo forma parte de una investigación centrada en las actuaciones de los estudiantes cuando resuelven situaciones que involucran el reconocimiento de fuerzas. Se enmarca en el proyecto de investigación "Las representaciones múltiples y el lenguaje en la construcción e interpretación de los diagramas de cuerpo libre" de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Rosario y es continuación de una investigación anterior (Rosolio, Sánchez y Llonch; 2014), en la cual se evidenciaron serias dificultades en la identificación de los elementos del medio ambiente que actúan sobre el objeto en estudio. Tal reconocimiento es esencial para la conceptualización de las fuerzas como interacciones, lo cual constituye un modelo conceptual central en la formulación de la mecánica newtoniana. Se asume que los estudiantes aprenden los modelos conceptuales utilizando sus modelos mentales (MM), por lo cual es importante conocer y caracterizar los MM que ellos desarrollan al reconocer fuerzas.

La teoría de Johnson-Laird (1983) considera a los MM como la representación interna del conocimiento y constituye una teoría general sobre el razonamiento humano. Se asume que los estudiantes construyen MM para representar estados de cosas físicas o abstractas, que pueden no ser científicamente precisos pero que les resultan funcionales. Es decir, los MM que los estudiantes construyen de un fenómeno físico les permite tratar de entenderlo, generar explicaciones y hacer predicciones (Greca y Moreira, 1997). Desde esta perspectiva, la resolución de problemas se analiza a

través de la construcción de MM recursivos que evolucionan en forma natural de modo que la persona que resuelve logre mantener la funcionalidad de sus modelos.

Se presenta aquí un procedimiento aplicado para identificar operadores y reconocer MM desarrollados en situaciones de equilibrio, en las cuales los alumnos deben identificar las fuerzas actuantes sobre los elementos del sistema. Se aplicó la técnica del pensamiento en voz alta, que da cuenta de los razonamientos de los estudiantes mientras resuelven. Se incluye, además, el análisis de un caso como representativo del procedimiento de análisis desarrollado.

## II. REFERENCIALES TEÓRICOS

Como se ha mencionado, los datos se interpretan siguiendo la Teoría de los MM de Johnson-Laird (1983), como representación interna del conocimiento. En esta Teoría se caracteriza a los MM en sus constituyentes: un conjunto finito de elementos (“tokens”) que representan un conjunto también finito de entidades físicas, un conjunto finito de propiedades de esos elementos que representan propiedades físicas de las entidades, y un conjunto finito de relaciones entre los elementos que representan relaciones físicas entre entidades.

Desde esta perspectiva, el punto central del razonamiento y de la comprensión de cualquier fenómeno está en la existencia de un modelo en la mente de quien razona y comprende. Así, comprender los conceptos científicos implica construir un MM adecuado de los procesos que representan. Cuando un sujeto entiende un fenómeno físico, sabe cuál es su causa y resultado, sabe cómo iniciarlo, influenciarlo o evitarlo, es decir tiene un modelo de trabajo de ese fenómeno (Greca y Moreira, 1996). Estos MM permiten establecer inferencias, con poder explicativo y predictivo, que justifican la funcionalidad de sus representaciones.

En la situación de resolución de problemas, esta la Teoría sostiene que los sujetos razonan a través de los MM elaborados a partir de la comprensión del enunciado, y cuya construcción y manipulación dependen de las limitaciones de la memoria operativa. Esto explica el hecho de que, con frecuencia, los sujetos realicen inferencias a partir de representaciones incompletas de los enunciados.

Esta investigación también se basa en la Teoría de Newell y Simon (1972) sobre resolución de problemas, como un proceso de comprensión y búsqueda en el espacio del problema, el cual resulta de la conjunción de un estado inicial y un conjunto de operadores. Tales operadores actúan de manera tal que cada estado del espacio puede ser alcanzado desde el estado inicial aplicando alguna secuencia de los mismos. En este marco, la principal condición para que un sujeto desarrolle el proceso de comprensión es que construya un espacio coherente.

Los desarrollos teóricos presentados (Newell y Simon, 1972; Johnson-Laird, 1983) pueden integrarse identificando cada *estado* en el espacio del problema con un MM (Galotti, 1989). De este modo, es posible analizar el proceso de resolución efectuado por los alumnos, reconociendo los diferentes operadores que dan lugar a un cambio total o parcial de un MM en curso. Se asume además que el éxito en la resolución dependerá fundamentalmente de que el sujeto pueda representarse, en su espacio del problema, las características relevantes del ambiente de la tarea (García Madruga y otros, en Gutiérrez Martínez y col., 2002).

En la caracterización de los MM desarrollados por los estudiantes cuando resuelven problemas de ciencias, es posible identificar diversos sesgos cognitivos que interfieren en los procesos de resolución. (Perkins, Farady y Bushey, 1991; Guisasola y Barragués, 2002; Potgietera, Malatjeb, Gaigherc y Venterd, 2009). En particular, en la resolución de problemas de Mecánica, la presencia de tales sesgos se relaciona fundamentalmente con alguna falla en el reconocimiento de las fuerzas (Llonch, Rosolio, D’Amico y Sánchez, 2011; Sánchez, 2011). Los sesgos más habituales en el razonamiento de estudiantes son los llamados *facilitador* o de *economía cognitiva* y de *fijación* o *creencia*. Toda vez que un estudiante ignora o justifica inconsistencias decimos que se debe a la presencia de un sesgo facilitador, que le lleva a tomar decisiones que le “facilitan” su trabajo, sin reparar en las implicancias conceptuales. Este sesgo también es llamado de economía cognitiva, ya que corresponde a la selección de la opción más simple para encarar la resolución del problema. El sesgo de creencia, por su parte, está presente cuando se adopta un modelo conocido, con coherencia interna, pero físicamente erróneo.

## III. METODOLOGÍA

Para el análisis e interpretación de los datos se aplicó una metodología cualitativa. Se utilizaron protocolos de pensamiento en voz alta, asumiendo que cuando los estudiantes resuelven de este modo reflejan lo que está ocurriendo en su memoria a corto plazo en ese momento (Crutcher, 1994; Ericsson y

Simon, 1993; Pressley y Afflerbach, 1995). Esto permite recabar información valiosa y detallada acerca del proceso de resolución ya que será posible acceder a las vocalizaciones de un “discurso interno” que es imposible conocer analizando sólo las resoluciones escritas.

Se analizaron los protocolos de un grupo de estudiantes que estaban comenzando el cursado de Física 1 para carreras de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, antes del desarrollo de la unidad correspondiente a Dinámica de la partícula. Previo a esta asignatura los alumnos habían asistido al Taller de Introducción a la Física, en el cual se habían abordado contenidos referidos al reconocimiento de fuerzas en situaciones de equilibrio.

La resolución en voz alta permitió acceder a expresiones que dan cuenta de las características de los MM desarrollados por los estudiantes a lo largo del proceso de resolución y de los operadores aplicados que generan revisiones de dichos modelos, como modo de describir el espacio del problema generado en cada caso. Las representaciones externas utilizadas por los alumnos, consideradas como fuentes para obtener información del contenido y evolución de los MM desarrollados durante la resolución, se expresan en esta instancia no sólo a través del lenguaje escrito, dibujos y esquemas, sino además a través de las expresiones orales registradas mientras resuelven. Para caracterizar los modelos mentales que elaboran los estudiantes se identifican los “tokens” o elementos que representan a los objetos de la situación en estudio, y representaciones de relaciones entre los mismos. En el caso del reconocimiento de fuerzas, objeto de este trabajo, un MM será coherente con el modelo conceptual si las relaciones entre los tokens corresponden a las fuerzas entre los elementos del sistema.

### A. Análisis de protocolos

El análisis se desarrolló en tres fases, que se detallan a continuación:

Fase 1: se procesaron los protocolos siguiendo lineamientos del análisis del discurso, segmentando cada protocolo en episodios numerados en forma consecutiva y titulados en función de la idea central del mismo. Se procedió a la codificación de los turnos de habla, distinguiendo los que corresponden al estudiante y a la investigadora.

Fase 2: en base a esta organización de los protocolos, se efectuó un primer procesamiento de la información. Se elaboró un cuadro donde se caracterizó cada episodio identificando los distintos MM a través de los tokens (T) correspondientes a los diferentes elementos del sistema, así como las relaciones entre tokens. Se identificaron además los operadores que generaron cambios en los MM en curso y los sesgos detectados en la conformación de los mismos.

Fase 3: a partir del procesamiento efectuado en la fase 2, se realizó un análisis interpretativo del proceso de resolución para cada protocolo.

Si bien en este trabajo se analiza solo un caso, se enumeran a continuación los operadores detectados en el análisis total de los protocolos.

- *Identificación de fuerzas* actuantes sobre el sistema
- *Relación causal* (explícita o implícita), referida al principio de acción y reacción
- *Redefinición del sistema*, presente cuando se produce un cambio en el número de elementos que los alumnos reconocen como relevantes en su sistema de estudio. Así, el modelo puede expandirse, disociarse o focalizarse.
- *Recurso gráfico*, cada vez que el estudiante dibuja la situación o recurre a la representación gráfica del enunciado.
- *Reconocimiento de agente*, cuando el estudiante menciona al elemento concreto que ejerce una fuerza
- *Aplicación de analogía*, cuando se manifiesta una manipulación del MM por asociación con una situación similar.

El instrumento diseñado consiste en tres situaciones de equilibrio: un niño parado, dos cajas apiladas apoyadas sobre una mesa y un hombre sentado como se muestra en la Figura 1. Se solicitó oralmente que reconocieran las fuerzas actuantes -sobre el niño, las cajas y el hombre- e identificaran a los cuerpos del medio ambiente que las ejercen, como paso previo al reconocimiento de las fuerzas como interacciones.



FIGURA 1. Situaciones correspondientes al instrumento aplicado.

Las situaciones S1 y S3 corresponden a parte del instrumento aplicado en una investigación previa basada en el análisis de resoluciones escritas (Rosolio et al, 2014) y que involucran fuerzas ejercidas sobre personas. Las resoluciones en voz alta permitirán realizar un estudio más profundo de los sucesivos MM desarrollados por los estudiantes mientras identifican fuerzas. Se incluyó una situación S2 con elementos inanimados para comparar las actuaciones y analizar el papel de la experiencia perceptiva y el efecto de la superficie de apoyo en ambos casos.

Para ejemplificar la metodología de análisis se seleccionó el protocolo de uno de los alumnos de la muestra, que respondió a las consignas del instrumento diseñado.

### III. ANÁLISIS INTERPRETATIVO

Se presenta a continuación las cuadros (Fase 2) correspondientes a las tres situaciones, donde en la primera columna se indican los episodios centrados en el contenido, con una caracterización de los mismos; la segunda refiere a la identificación de los operadores aplicados por este estudiante que pueden generar un cambio en el modelo y los sesgos detectados; la tercera columna caracteriza los distintos MM identificados, incluyendo los tokens que los conforman, sus propiedades y las relaciones entre ellos. Para cada cuadro se realiza un análisis interpretativo del protocolo seleccionado.

#### Situación 1

<p><b>EPISODIO 1</b> <i>Fuerza única hacia abajo</i></p>	<p><b>O1: Identificación de fuerzas</b> <i>Sesgo de confirmación: "sí, la normal para abajo es la única fuerza"</i></p>	<p><b>MM1</b> → MM inicial -Token T1: chico</p>
<p><b>EPISODIO 2</b> <i>Reconociendo un nuevo elemento relevante</i></p>	<p><b>O2: Reconocimiento de agente</b> (sugerido por la investigadora) <i>Sesgo de creencia: La fuerza normal como atracción gravitatoria</i></p>	<p><b>MM2</b> → Se incorpora: - Token TG: gravedad - Relación entre tokens: TG- T1</p>
<p><b>EPISODIO 3</b> <i>Reconsiderando fuerzas</i></p>	<p><b>O3: Aplicación de analogía</b> A partir de la observación de la S2</p>	<p><b>MM2</b> → manipulación del modelo sin evolución.</p>
	<p><b>O4: Reconocimiento de agente</b> (sugerido por la investigadora)</p>	<p><b>MM3</b> → Se agrega: - Token TR: Tierra - Relación entre tokens: TR -T1</p>
	<p><b>O5: Reconocimiento de agente</b> (sugerido por la investigadora) <i>Sesgo de creencia: el peso como propiedad del chico.</i> <i>Sesgo de economía cognitiva: identifica a la tierra con el piso.</i></p>	<p><b>MM4</b> → Se incorpora: - Token TP: piso - Relación entre T1 y TP</p>

CUADRO I. Identificación de operadores y modelos en la resolución de la S1, donde Oi indica cada operador reconocido y MMi la caracterización de los MM sucesivos.

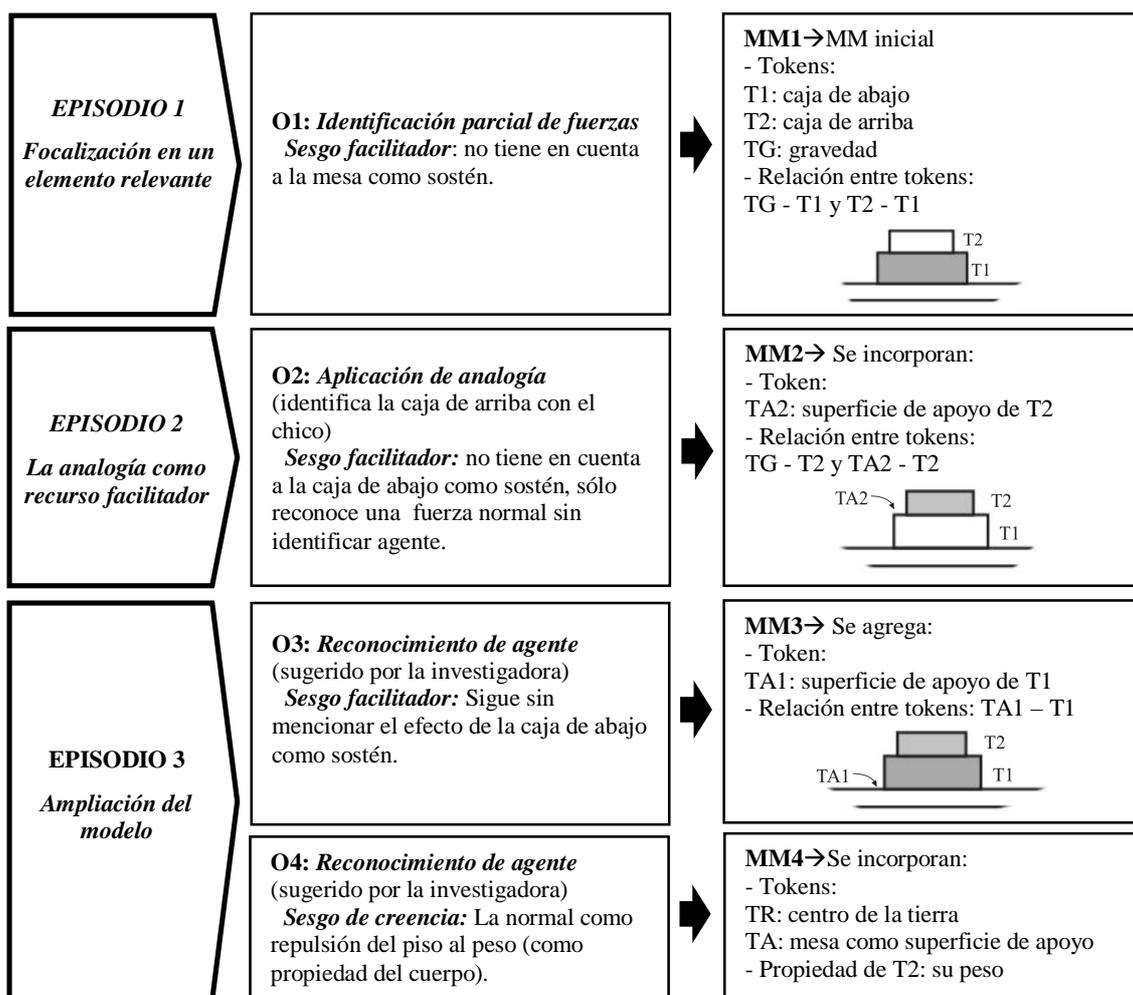
El MM inicial se construye a partir de la consigna y contiene al chico afectado por una única fuerza dirigida hacia abajo que denomina "normal". Se detecta un sesgo de confirmación cuando afirma: "sí, la

normal para abajo es la única fuerza... Es una fuerza que va para abajo, no sé otra cosa". Ante una pregunta de la investigadora reflexiona e incorpora un nuevo token a su MM: la gravedad como un elemento del medio ambiente que actúa sobre el chico generando una fuerza que sigue llamando "normal". Sigue siendo un modelo sesgado en el cual puede inferirse que considera a la fuerza normal como la atracción gravitatoria. A continuación se produce un "impasse" en el cual el estudiante observa el dibujo correspondiente a la S2 que le lleva a usar el operador *aplicación de analogía* con el consecuente cambio en el modelo en curso al incorporar un token correspondiente al piso y redefinir el sentido de la fuerza normal hacia arriba. Es importante señalar que la observación de la S2 generó un "insight" que le permitió al estudiante reconocer el sentido correcto de la fuerza normal. Es decir la situación de un cuerpo inanimado apoyado le hizo reconocer a la fuerza normal como sostén del niño parado, quizá por la recuperación de una de las situaciones más usuales en su experiencia escolar.

Ante una pregunta de la investigadora respecto al agente de esa fuerza normal la reconoce como una "repulsión" del piso y expresa que la fuerza hacia abajo incluida en su primer diagrama es en realidad "la fuerza de gravedad que el chico aplica al piso". Este estudiante muestra la presencia de un sesgo de economía cognitiva al llamar indistintamente piso y Tierra. Si bien en un momento se refiere a la Tierra como planeta "...la gravedad hace fuerza hacia el centro de la Tierra..." en otro expresa "...la otra es la fuerza de repulsión que ejerce la tierra sobre el chico, la normal."

Si bien el diagrama de fuerzas sobre el chico es correcto (fuerza normal hacia arriba y fuerza de gravedad hacia abajo) está construido desde un MM incoherente y sesgado desde el punto de vista de la Física. Si hubiera presentado sólo la solución escrita se hubiese considerado como respuesta correcta, perdiendo toda la información que subyace en su discurso en voz alta.

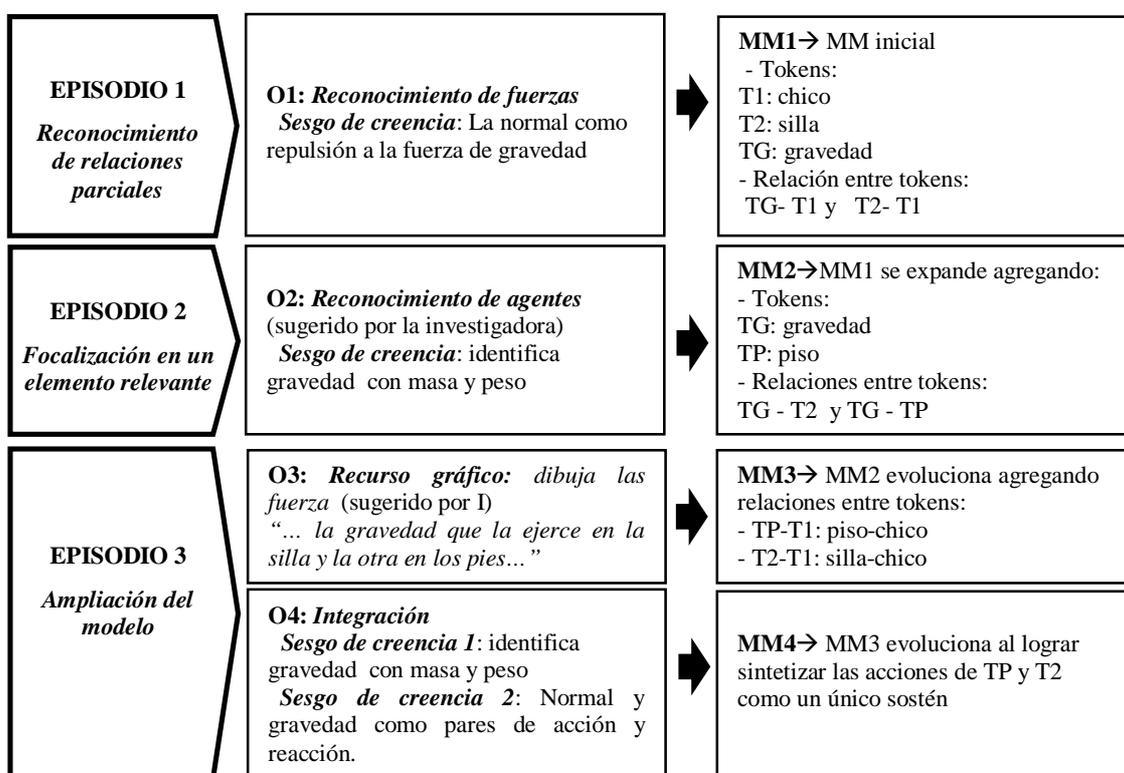
**Situación 2**



**CUADRO II.** Identificación de operadores y modelos en la resolución de la S2, donde Oi indica cada operador reconocido y MMi la caracterización de los MM sucesivos.

En el MM inicial de la S2 la caja de abajo es su elemento relevante ya que comienza a analizar las fuerzas que actúan sobre ella. En este caso reproduce el MM inicial sesgado de la S1, ya que indica que todas las fuerzas apuntan hacia abajo, sin tener en cuenta a la mesa como sostén. El nuevo modelo surge por una *aplicación de analogía*, pero esta vez en sentido inverso, es decir, asocia la caja de arriba con el chico de la S1 y a partir de esto agrega la fuerza normal, que identifica como “repulsión” a la fuerza de gravedad, sin identificar el agente que la genera. A partir de la intervención de la investigadora insistiendo acerca de qué elementos ejercen las fuerzas identificadas, el alumno logra reconocer a la mesa como superficie de apoyo y al centro de la Tierra como causa de la “gravedad” que actúa sobre las cajas. Es importante destacar que en este último episodio el estudiante por primera vez nombra al peso de la caja de arriba y lo reconoce como agente de la fuerza ejercida sobre la caja de abajo: “... *al tener peso... hace fuerza sobre la de abajo*”. De este modo da muestra de identificar al peso con la masa y reconocer al propio cuerpo como el generador de la fuerza de compresión sobre la otra caja. De este modo incluye al peso como un elemento diferenciado de su MM: una propiedad del token T2 (representación de la caja superior)

**Situación 3**



**CUADRO III.** Identificación de operadores y modelos en la resolución de la S3, donde Oi indica cada operador reconocido y MMi la caracterización de los MM sucesivos.

El MM inicial en este caso contempla un equilibrio de fuerzas al reconocer a la fuerza de gravedad hacia abajo y una normal hacia arriba. Insiste en identificar esa normal como una “repulsión” ejercida por la silla a la fuerza de gravedad. En efecto, este alumno expresa: “... *la gravedad hace fuerza para el centro de la tierra y en este caso sería la silla la que hace repulsión hacia arriba...*” dando cuenta de un modelo sesgado desde el punto de vista de la Física, pero que le permite justificar el equilibrio. En el último episodio y por intervención de la investigadora incluye al piso en su MM como agente de una parte de la “repulsión” a la fuerza de gravedad. Es decir, según este estudiante: “... *parte de la fuerza de gravedad descansa en el piso y parte en la silla.*”, considerando al peso como una fuerza distribuida. Sigue presente el sesgo de creencia relativo a la identificación de masa, peso y fuerza de gravedad ya que en el episodio final afirma: “... *no sé cuánta de la fuerza que ejerce el chico va sobre la silla y cuánta sobre el piso*”. Es importante destacar que al finalizar, este estudiante logra una evolución cualitativa de su MM al integrar las acciones de sostén del piso y la silla como una única fuerza normal.

#### IV. REFLEXIONES FINALES

Es importante destacar que, si bien en las consignas se le pedía no sólo reconocer las fuerzas sino además identificar a los cuerpos que las ejercen, este estudiante no reconoció espontáneamente a dichos agentes, siendo necesaria la intervención de la investigadora. Este hecho, verificado en muchos de los protocolos analizados, y generado a partir de diversos sesgos cognitivos, interfiere en el reconocimiento de las fuerzas como interacciones. Efectivamente, cuando en la descripción de los MM se expresa: “relación entre tokens” se refiere a las fuerzas que uno de ellos realiza sobre otro pero que no se identifican como interacciones. Si bien en esta instancia se pretende sólo que reconozcan que cada fuerza está generada por un cuerpo identificable, esto constituye un paso previo para reconocer a las fuerzas como interacciones. Desde la investigación educativa se destaca la necesidad de enfatizar esta concepción (Hellingman, 1992; Jiménez y Perales, 2001). Por esto, creemos que es importante trabajar con los estudiantes con herramientas de representación visual de las interacciones entre objetos (Hinrichs, 2005; Tiberghien, Vince y Gaidioz, 2009; Turner, 2003) que favorezcan el reconocimiento de fuerzas en su carácter de interacción como paso previo a la construcción del diagrama de cuerpo libre. Desde el punto de vista cognitivo, tales representaciones, como por ejemplo los diagramas de interacción, facilitan la conformación de MM coherentes con los modelos conceptuales con el consecuente beneficio en la elaboración de los diagramas de cuerpo libre, actividad fundamental en la resolución de los problemas de Dinámica.

El análisis de los protocolos presentado en este trabajo muestra una forma de caracterizar el proceso de identificación de fuerzas a través de los operadores y modelos mentales que configuran el espacio del problema, reconociendo sesgos y la persistencia de creencias que dificultan la tarea. Esto fue posible a partir de información obtenida a través del análisis de los protocolos de resolución en voz alta, que permitió una interpretación más acabada y completa del proceso de reconocimiento de fuerzas de los estudiantes, a través de sus comportamientos y verbalizaciones en el momento en que iban resolviendo la tarea. Efectivamente, los informes así generados, proporcionaron una valiosa base de datos para identificar las representaciones que los estudiantes construyen. Por ejemplo en el protocolo objeto de este análisis, puede observarse que la representación de la gravedad es un token presente en los MM de las tres situaciones, considerándola como un elemento concreto en su análisis.

Cuanto más datos dispongan los docentes acerca de los modelos elaborados y del tipo de razonamiento que los generan, más posibilidades tendrán de diseñar modos de intervención didáctica que orienten a los estudiantes en la tarea de identificar las fuerzas como interacciones en particular y a resolver problemas en general.

#### REFERENCIAS

- Crutcher, R. J. (1994). Telling What We Know: The Use of Verbal Report Methodologies in Psychological Research. *Psychological Science*, 5 (5), pp. 241-244.
- Ericsson, K. A. y Simon, H. A. (1993). *Protocol Analysis: Verbal reports as data*. (Rev. Ed.) Cambridge M.A: Bradford Books/ MIT Press.
- Galotti, K. (1989). Approaches to studying formal and everyday reasoning. *Psychological Bulletin*, 105, pp. 331-351.
- García Madruga, J. A., Gutiérrez, F. y Carriedo, N. (2002). El enfoque computacional. Las teorías simbólicas del procesamiento de la información y las teorías neo-piagetianas. En Francisco Gutiérrez Martínez, Juan Antonio García Madruga y Nuria Carriedo López (Eds.) *Psicología Evolutiva II. Desarrollo cognitivo y lingüístico* Vol. 1, pp. 123-148. Madrid: UNED.
- Greca, I y Moreira, M. A. (1996). Un estudio piloto sobre representaciones mentales representaciones mentales, imágenes, proposiciones y modelos mentales respecto al campo electromagnético, *Investigações em ensino de ciencias*, 1, pp. 95-108.
- Greca, I.M. y Moreira, M.A. (1997). The kinds of mental representations - models, propositions and images - used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 19(6), pp. 711-724.

Guisasola, J. y Barragués, J. I. (2002). Heurísticas y sesgos de los estudiantes de primer ciclo de universidad en la resolución de problemas de probabilidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (2), pp. 285-302.

Hellingman, C. (1992). Newton's third law revisited. *Physics Education*, 27, pp. 112.

Hinrichs, B. (2005). Using the system schema representational tool to promote student understanding of Newton's third law. *AIP Conference Proceedings* 790, pp. 117-120.

Jiménez, J. y Perales, F. (2001). Graphic representation of force in secondary education: Analysis and alternative educational proposals. *Physics Education*, 36, p. 227.

Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models*. Cambridge: Harvard University Press.

Llonch E, Rosolio A.; D'Amico H. y Sánchez P. (2011). Sesgos en la resolución de un problema de dinámica. *Memorias de la XVII Reunión Nacional de Educación en Física*. Córdoba

Newell, A. y Simon, H. A. (1972). *Human Problem Solving*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice – Hall.

Perkins, D. N., Farady, M. y Bushey, B. (1991). En Voss, Perkins & Segal (Eds.), *Informal Reasoning and Education*, pp. 83-105. Hillsdale, New Jersey: LEA.

Potgietera, M., Malatjeb, E., Gaigherc, E. y Venterd, E (2009). Confidence versus Performance as an Indicator of the Presence of Alternative Conceptions and Inadequate Problem-Solving Skills in Mechanics. *International Journal of Science Education*, 32 (11), pp. 1407–1429.

Pressley, M & Afflerbach, P (1995). *Verbal Protocols of reading: The nature of constructively responsive reading*. Hillsdale, N. J: Erlbaum.

Rosolio A., Sánchez, P. y Llonch E. (2014). Identificación de fuerzas en situaciones de equilibrio: un estudio con alumnos ingresantes a la universidad. *Revista de Enseñanza de la Física*, 26, pp 195-205. ISSN 2250-610. Editorial: Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.

Sánchez, P. (2011). *Las representaciones mentales en la resolución de problemas de mecánica clásica*. Tesis de Doctorado. Facultad de Psicología. Madrid: UNED.

Tiberghien, A., Vince, A. y Gaidioz, P. (2009). Design-based research: Case of a teaching sequence on mechanics. *International Journal of Science Education*, 31, pp. 2275-2314.

Turner, L. (2003). System schemas. *The Physics Teacher*, 41, pp. 404-408.