

Herramientas de representación visual para el reconocimiento de fuerzas como interacción



**Alejandra Rosolio, Rosana Cassan, Elena Llonch,
Patricia Sánchez, Marta Massa**

Grupo de Conceptualización en Educación en Ciencias, Escuela de Formación Básica, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Avenida Pellegrini 250 - CP 2000, Rosario, Argentina.

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

(Recibido el 20 de junio de 2018; aceptado el 29 de junio de 2018)

Resumen

La conceptualización de las fuerzas como interacciones y su identificación en situaciones concretas resultan fundamentales en la resolución de problemas de Mecánica. Estudios previos muestran las dificultades de los estudiantes para identificar los cuerpos del medio ambiente (MA) que interactúan con el sistema en estudio. De ellos surge la recomendación de trabajar con herramientas de representación visual, por ejemplo los llamados diagramas de interacción (DI), prescindiendo, en una primera etapa, de la consideración del carácter vectorial de las fuerzas. Se analiza la aplicación del DI en dos situaciones de cuerpos en equilibrio. Participaron 62 alumnos ingresantes a carreras de ingeniería, quienes realizaron los Diagramas de Cuerpo Libre (DCL), luego discutieron en clase el rol del DI para cada situación y finalmente rehicieron los DCL. Analizados todos los protocolos se seleccionaron cinco casos para su estudio. Se observan mejoras en los DCL, ya que sitúan las fuerzas en el elemento adecuado y con el sentido correcto. Sin embargo, al describir con palabras las interacciones, se detectan dificultades en reconocer el efecto mutuo entre el sistema de estudio y los elementos del MA. En estos casos, un DCL formalmente correcto, enmascara errores conceptuales subyacentes puestos de manifiesto cuando el estudiante explicita las interacciones reconocidas.

Palabras clave: resolución de problemas en Mecánica – diagramas de interacción – diagramas de cuerpo libre

Abstract

The conceptualization of forces and interactions and their identification are critical when addressing problem solving in Mechanics. Previous studies showed the difficulties students had when identifying the bodies in interaction with the system under study. The recommendation of working with visual representation tools arises from these results. The interaction diagram (ID) is one of these tools, in which the vector character of forces is not initially considered. In this work the application of IDs to two equilibrium situations is analysed. A group of 62 engineering students taking an Introductory Physics workshop participated in the study. Initially the students were asked to develop the free body diagrams (FBD) for both situations and after that the role of an appropriate ID was discussed. Finally the students could re-elaborate the FBDs should they deemed it necessary. All protocols were analysed and five cases were selected for a deeper study. FBD improvements were observed, as most students drew the forces on the right item with the right direction. When asked to describe the interactions, however, difficulties were detected in the recognition of the mutual effect between the system under study and elements in the environment. In these cases, a formally correct FBD might mask underlying conceptual errors which are made visible when students explicit the interactions between bodies.

Keywords: problem solving in Mechanics – interaction diagrams – free body diagrams

PACS: 01.40.Fk, 01.40.gb, 01.40.Ha, 45.20.D.

ISSN 1870-9095

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca en una investigación global que indaga, desde un enfoque cognitivo, las representaciones internas desarrolladas por estudiantes universitarios cuando elaboran los Diagramas de Cuerpo Libre (DCL) de las diferentes situaciones problemáticas que resuelven a lo largo de un curso de Mecánica Básica universitaria.

Investigaciones anteriores de las autoras se centraron en el análisis de las concepciones de fuerza de estudiantes

ingresantes a carreras de ingeniería, para lo cual se estudiaron sus actuaciones en tareas de resolución de problemas que involucraban sistemas de cuerpos en equilibrio [1]. Se reconoció que la presencia de un sujeto como parte del sistema físico en estudio favorece la conformación de un modelo mental construido a partir de experiencias cotidianas. Sin embargo, el efecto perceptivo es tan fuerte que aún los estudiantes que identifican y caracterizan las fuerzas actuantes -la gravitatoria y las de contacto- e indican los agentes que las ejercen, también

incluyen algunas pseudo fuerzas. Asimismo, algunos estudiantes consideran a la fuerza peso como una propiedad de los cuerpos, haciendo referencia a un “peso diferencial” (por ejemplo, “el peso repartido en los dos pies”). La mayoría de los estudiantes participantes en estas investigaciones tuvo dificultad para identificar los elementos del medio ambiente (MA), reconocimiento esencial para la conceptualización de las fuerzas como interacciones.

Siguiendo esta línea, se diseñó una metodología para analizar los protocolos de pensamiento en voz alta de los estudiantes mientras reconocen las fuerzas ejercidas sobre sistemas de cuerpos en equilibrio [2]. La información obtenida mediante el análisis de protocolos de resolución en voz alta, permitió interpretar los procesos de reconocimiento de fuerzas desarrollados por los participantes. Se observó la dificultad de los estudiantes en reconocer a los agentes que ejercen las diferentes fuerzas sobre los cuerpos en estudio; en este sentido en muchos casos fue necesaria la intervención de la investigadora para orientar en este reconocimiento, el cual es fundamental para la comprensión de la tercera ley de Newton.

Los resultados mencionados expresan claramente la necesidad de diseñar estrategias didácticas que contribuyan al desarrollo de procesos cognitivos en los estudiantes y les permitan resolver las dificultades observadas. Estas estrategias tienen como objetivo favorecer un adecuado reconocimiento y conceptualización de las fuerzas como elementos básicos de la modelización que efectúa la Física de las interacciones entre cuerpos. Una de las estrategias que diferentes investigadores en enseñanzas de las ciencias, que además desarrollan tareas docentes, vienen utilizando son los diagramas de interacción (DI) [3]. Dichos diagramas son herramientas de representación visual de las interacciones entre objetos y se utilizan en los procesos de enseñanza-aprendizaje para favorecer el reconocimiento de fuerzas en su carácter de interacción como paso previo a la construcción del DCL. Varias publicaciones dan cuenta de los beneficios de su empleo en los cursos básicos de Física [4, 5, 6].

El presente trabajo se enmarca en el proyecto de investigación “Las representaciones múltiples y el lenguaje en la construcción e interpretación de los diagramas de cuerpo libre” radicado en la Universidad Nacional de Rosario, y tiene como objetivo mostrar la evolución de los DCL que elaboran estudiantes de cursos de Física Básica universitaria de carreras de ingeniería luego de trabajar, en una primera etapa, con los DI mencionados anteriormente.

II. REFERENCIALES TEÓRICOS

En Mecánica Clásica, el concepto de fuerza es uno de los más importantes, pero su carácter abstracto hace que su aprendizaje no sea trivial para muchos estudiantes. Con el objetivo de facilitar su comprensión, una fuerza puede pensarse como un “empujón” o un “tirón” actuando sobre un cuerpo como resultado de una interacción con otro cuerpo [3, 7]. Algunas fuerzas resultan de interacciones de

contacto (normal, roce) y otras son resultado de interacciones a distancia (gravitatoria, eléctrica, magnética). Precisamente, la comprensión adecuada del concepto de fuerzas en Física implica el reconocimiento de las mismas como resultado de interacciones [8, 9, 10]. La tercera ley de Newton da cuenta de tal concepción, de modo que su estudio es de suma utilidad para la adecuada identificación de las fuerzas actuantes sobre un cuerpo determinado, al enfatizar la individualización del agente del medio ambiente que ejerce cada fuerza sobre el cuerpo en estudio. Sin embargo, en general no se le asigna un espacio suficiente en la mayoría de los cursos, limitándose muchas veces a una breve presentación de la misma, dándole menor profundidad que al tratamiento de la primera y segunda leyes de Newton.

La tercera ley de Newton expresa que cuando dos cuerpos A y B interactúan, se ejercen fuerzas uno sobre el otro; estas fuerzas, comúnmente llamadas par de acción y reacción, son iguales en módulo y dirección, de sentido opuesto y actúan sobre cuerpos diferentes.

En el campo de la investigación en enseñanza de las ciencias, se han publicado numerosos trabajos en los cuales se ponen de manifiesto las dificultades de los estudiantes para reconocer fuerzas y para elaborar DCL [3, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17]. Estas dificultades pueden tener su origen en las fuertes creencias acerca del mundo físico y, en particular, de las fuerzas con que gran parte de los estudiantes llega a los cursos de Mecánica Básica universitaria. Tales creencias se fueron adquiriendo a través de la experiencia cotidiana y, a veces, durante la instrucción escolar. Diversas investigaciones revelan que algunos estudiantes interpretan a las fuerzas como propiedades de los objetos y no como resultado de las interacciones entre ellos [2, 18]. Inclusive algunos libros de texto refuerzan esta idea cuando describen algunas situaciones [9].

Los DI se utilizan como herramienta didáctica con el objetivo de facilitar el camino hacia la elaboración de los DCL y la posterior formalización matemática utilizando la segunda ley de Newton. Estos diagramas constituyen un tipo de representación externa más elemental, en los cuales no se incluye explícitamente el carácter vectorial de las fuerzas, sino que simplemente se las interpreta como un “tirón” o “empujón” actuando sobre los cuerpos involucrados.

A partir de los DI que elaboran los estudiantes es posible inferir algunas características de las representaciones internas que los generan. En este trabajo se considera a los modelos mentales (MM) de Johnson–Laird [19] como formato de las representaciones internas de la información. En el marco de esta teoría la comprensión adecuada de una situación física conlleva la construcción de MM que sean análogos estructurales de tal situación. En este sentido, las representaciones externas de los sujetos, en este caso los gráficos, textos, símbolos, diagramas, brindan información de sus MM en tanto representaciones internas construidas por los individuos [20, 21]. Puede hablarse también del desarrollo de un modelo situacional [22] en el cual la mayor o menor adecuación del modelo depende del reconocimiento de las auténticas demandas de la tarea y también de la comprensión de la situación planteada. Si bien los modelos situacionales de Perkins son básicamente

análogos a los modelos mentales de Johnson-Laird [19], su aporte radica en proponer dos criterios básicos para evaluar modelos situacionales: los sesgos y la completitud, en referencia a la consideración de todos los datos relevantes, atribuyendo muchos de los fracasos en la resolución de problemas a las limitaciones del modelo situacional, que al ser inadecuado, presenta obstáculos para procesos de razonamiento tales como transferencia, asociación, comunicación, deducción, análisis, entre otros. Así, es posible reconocer el *sesgo de confirmación* -consideración sólo de la evidencia consistente con las creencias o hipótesis de partida de quien resuelve-, el *sesgo de creencia* -interpretación de la evidencia disponible de acuerdo a la credibilidad de la conclusión a la que conduce-, el *sesgo facilitador* -elección de la opción más simple que permite desarrollar la resolución- que dan cuenta de fallos en la interpretación de la situación presentada. La presencia de estos sesgos evidencia la tendencia natural a minimizar la demanda cognitiva, razón por la cual se dice que son funcionales en términos de economía cognitiva. Desde esta perspectiva muchos de los fracasos en la resolución de problemas pueden explicarse por la construcción de un modelo situacional que “tiene sentido” para quien resuelve.

III. METODOLOGÍA

La indagación se realizó en una comisión de 62 estudiantes que estaban cursando Introducción a la Física, asignatura con modalidad taller, correspondiente al primer semestre de las carreras de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario.

En la segunda unidad de esta asignatura se desarrolla el concepto de fuerza como resultado de una interacción mecánica, trabajando solo en situaciones de equilibrio. La secuencia didáctica comienza con el abordaje de la tercera ley de Newton, para luego proceder a reconocer las interacciones entre los cuerpos involucrados y consecuentemente avanzar en la construcción de los DCL.

El estudio se hizo en base a dos situaciones de equilibrio que involucran personas (Figura 1) y se procedió en tres etapas. En la primera, los estudiantes debían reconocer el sistema en estudio, el medio ambiente, las interacciones y posteriormente elaborar los correspondientes DCL, en forma individual y por escrito. En la segunda etapa, el docente presentó en clase los DI, como estrategia didáctica, y ejemplificó su aplicación con situaciones diferentes a las mostradas en la Figura 1. A continuación se requirió a los estudiantes que realizaran sus propios DI para cada situación. En la tercera etapa, y a fin de completar la secuencia, los estudiantes debieron revisar sus DCL iniciales y quienes consideraron que no eran adecuados tuvieron la oportunidad de rehacerlos; en caso contrario debían indicar que el DCL inicial no necesitaba modificación.

Como puede observarse en la Figura 1, el instrumento diseñado consiste en dos situaciones: una niña de pie y un chico sentado en una silla, ambos en equilibrio, con una

consigna textual. Los dibujos utilizados en esta investigación, difieren sensiblemente respecto a los de trabajos anteriormente citados [1, 2] con el objeto de evitar algunas interpretaciones de los estudiantes observados en los casos anteriores, que dificultaron el reconocimiento de las fuerzas objeto de esta investigación.

<p>Situación S1: Realiza el diagrama de cuerpo libre de la niña en la situación mostrada. Nombra los elementos del medio que están ejerciendo cada una de las fuerzas reconocidas.</p>	
<p>Situación S2: Realiza el diagrama de cuerpo libre del chico en la situación mostrada. Nombra los elementos del medio que están ejerciendo cada una de las fuerzas reconocidas.</p>	

FIGURA 1. Situaciones correspondientes al instrumento aplicado.

Las unidades de análisis consideradas fueron: DCL inicial, DI y DCL final. En los DCL se analizó el reconocimiento del sistema en estudio y de los elementos del MA, las fuerzas reconocidas y sus correspondientes pares de interacción, el punto de aplicación de dichas fuerzas y la consistencia con una situación de equilibrio. En cuanto al DI, se tuvieron en cuenta los elementos esquematizados, haciendo hincapié en las expresiones que los estudiantes volcaron en cada una de las líneas de conexión entre el sistema y los elementos del MA. Se analizaron además, en los casos que los hubiera, los comentarios incluidos, y se compararon los DCL antes y después de la realización del DI. Acordados los criterios de análisis, cada investigadora analizó individualmente los protocolos, seleccionando en un principio, aquellos en los que todas las situaciones estuvieran resueltas en forma completa. Luego agrupó los protocolos atendiendo a las similitudes identificadas en las unidades de análisis y seleccionó los más completos de cada uno de tales grupos.

En forma conjunta se compararon los trabajos seleccionados por cada investigadora, se discutieron algunas diferencias y se escogieron finalmente cinco que fueron analizados en profundidad. Para el análisis e interpretación de los datos se aplicó una metodología cualitativa.

IV. ANÁLISIS INTERPRETATIVO

Los protocolos seleccionados se analizaron en tres etapas correspondientes a cada una de las unidades de análisis.

Etapa I: a partir de los DCL iniciales se identificaron las fuerzas actuantes incluidas, el reconocimiento de los elementos concretos que ejercen dichas fuerzas y la coherencia con la situación de equilibrio.

Etapa II: en el DI se observó el reconocimiento del sistema en estudio, de los elementos del MA, de las interacciones entre ellos y las palabras utilizadas para indicar las interacciones.

Etapa III: se realizó un análisis similar al de la etapa I, observando además las persistencias y/o cambios que pudieron acontecer a partir del DI.

A continuación se presenta una reseña que incluye características relevantes de los cinco protocolos seleccionados.

Estudiante A: La Figura 2 representa cada una de las tres etapas de la producción del estudiante en la situación S1.

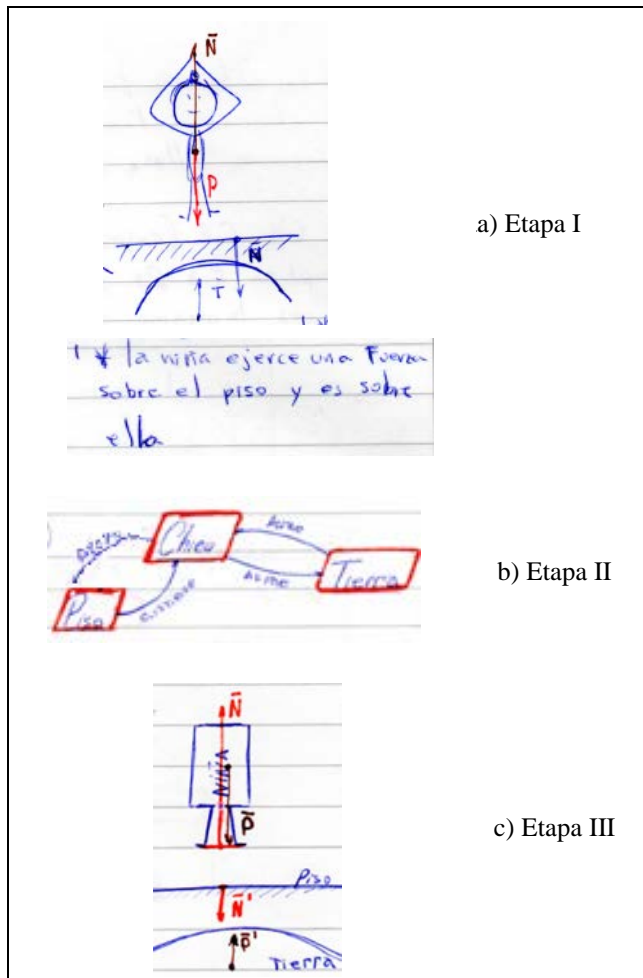


FIGURA 2. Resolución de la situación S1 del estudiante A. Etapas I, II y III.

En la primera etapa (Figura 2.a) este estudiante dibuja los cuerpos del MA que interactúan con el sistema, y si bien realiza un DCL inicial de la niña consistente con la situación de equilibrio, no reconoce la interacción con la Tierra, ya que no relaciona la fuerza T que dibuja en la Tierra con lo que llama peso P en la niña. En la segunda etapa, al realizar el DI (Figura 2.b) reconoce explícitamente el sistema y los elementos del MA; dibuja la doble flecha entre ellos, demostrando una evolución en su conocimiento al “descubrir” la interacción entre la chica y la Tierra,

explicitado con un “*atrae – atrae*” en cada flecha conforme con la tercera ley de Newton. La tercera etapa (Figura 2.c) muestra un DCL correcto, que incluye todos los pares de acción-reacción, como así también los puntos de aplicación de las fuerzas.

La Figura 3 muestra las etapas en la situación S2.

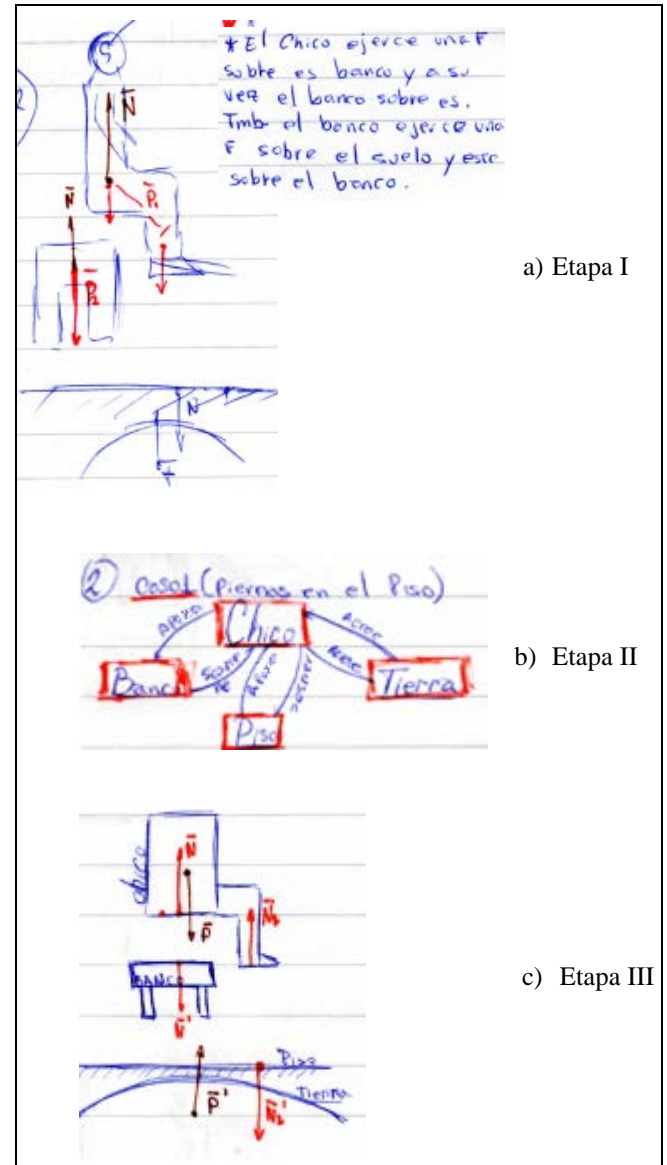


FIGURA 3. Resolución de la situación S2 del estudiante A. Etapas I, II y III.

En la primera etapa (Figura 3.a), el DCL planteado permite justificar el equilibrio solo en traslación; además, el estudiante esquematiza el peso distribuido en dos puntos de apoyo. En cuanto a las fuerzas de contacto el esquema es confuso, ya que aparecen dos normales hacia arriba -una en el chico y otra en el banco- y una tercera en el piso orientada hacia abajo. En el DI (Figura 3.b) reconoce todos los elementos del MA, pudiendo en la tercera etapa reconstruir el DCL en forma correcta, mostrando un gran avance al identificar y aplicar correctamente un par de fuerzas como interacción entre el chico y el banco (N-N´) y otro par (N1-

N1) como interacción entre el chico y el piso (Figura 3.c). Además reconsidera la interacción entre el chico y la Tierra. **Estudiante B:** En S1 presenta inicialmente una dificultad al indicar los puntos de aplicación de las fuerzas de contacto, de modo que el DCL de la niña no es consistente con la situación de equilibrio como se muestra en la Figura 4.a.

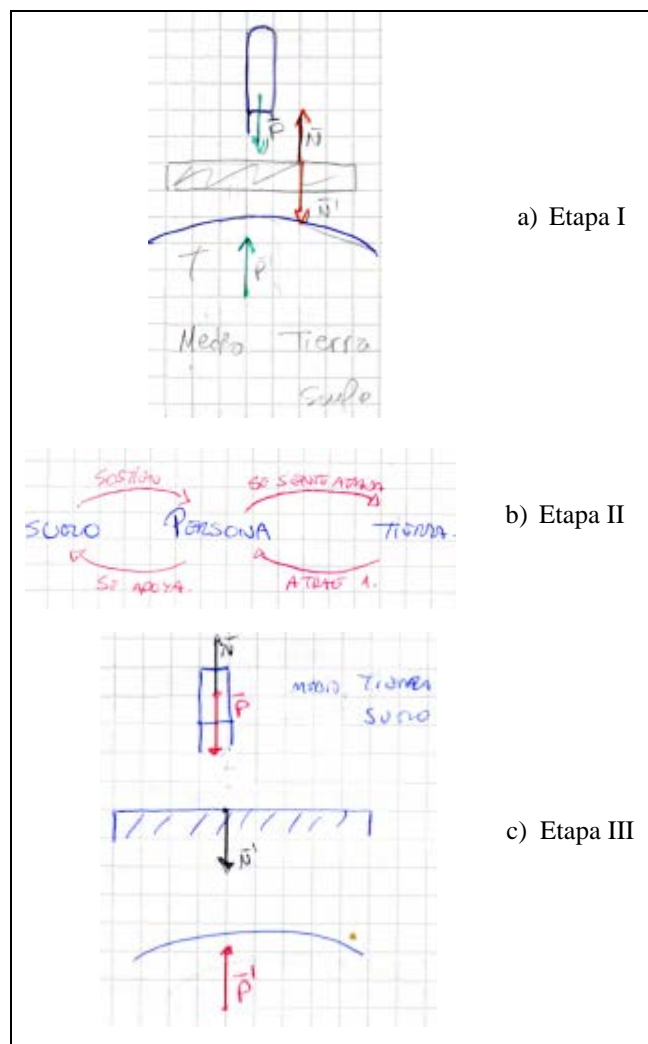


FIGURA 4. Resolución de la situación S1 del estudiante B. Etapas I, II y III.

Si bien logra realizar un DCL final adecuado (Figura 4.c), en sus DI se observa que no ha conceptualizado plenamente la tercera ley de Newton al dar cuenta solo de la acción de la Tierra (MA) sobre el sistema en estudio, como se muestra en la Figura 4.b. Efectivamente allí expresa que la Tierra atrae a la persona y la persona se siente atraída por la Tierra. A este diagrama se lo llamará “diagrama de acción” (DA), por cuanto se reconoce la acción solo en términos de uno de los cuerpos (la Tierra).

En la resolución S2, además de los aspectos mencionados en S1 que vuelven a aparecer en esta situación (Figura 5.a y 5.c), se observa la Tierra en un doble rol: “apoyo” y “atracción” en el DI (Figura 5.b).

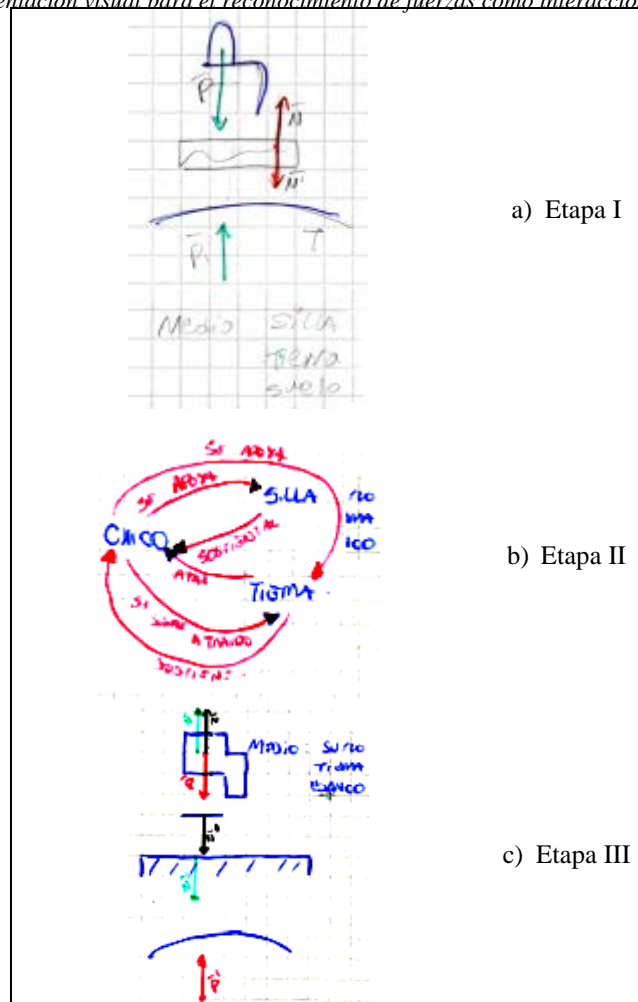


FIGURA 5. Resolución de la situación S2 del estudiante B. Etapas I, II y III.

Estudiante C: En S1 realiza inicialmente un diagrama de fuerzas -separado del dibujo figurativo de la niña- consistente con la situación de equilibrio, indicando correctamente los elementos del MA y pares de acción-reacción. Sin embargo expresa incorrectamente que “La fuerza P es la reacción de la tierra sobre la fuerza P que ejerce la persona”.

En S2 este estudiante indica, en el DCL inicial sobre el chico y sobre la silla, fuerzas de roce horizontales (Figura 6.a), diciendo: “la fuerza de roce (fr) que ejerce el hombre sobre la silla”, no correspondiendo este diagrama a una situación de equilibrio en la dirección horizontal.

Además, indica con sentido opuesto la fuerza normal aplicada en la silla y no considera la interacción entre el piso y los pies del niño. Siguiendo con esta situación, en la etapa II realiza un DA, reconociendo parcialmente el MA (no reconoce el piso) y reitera la preponderancia de la acción de la Tierra (Figura 6.b). De todos modos, el DA realizado le resulta funcional para llegar a DCL adecuados, como se observa en la Figura 6.c.

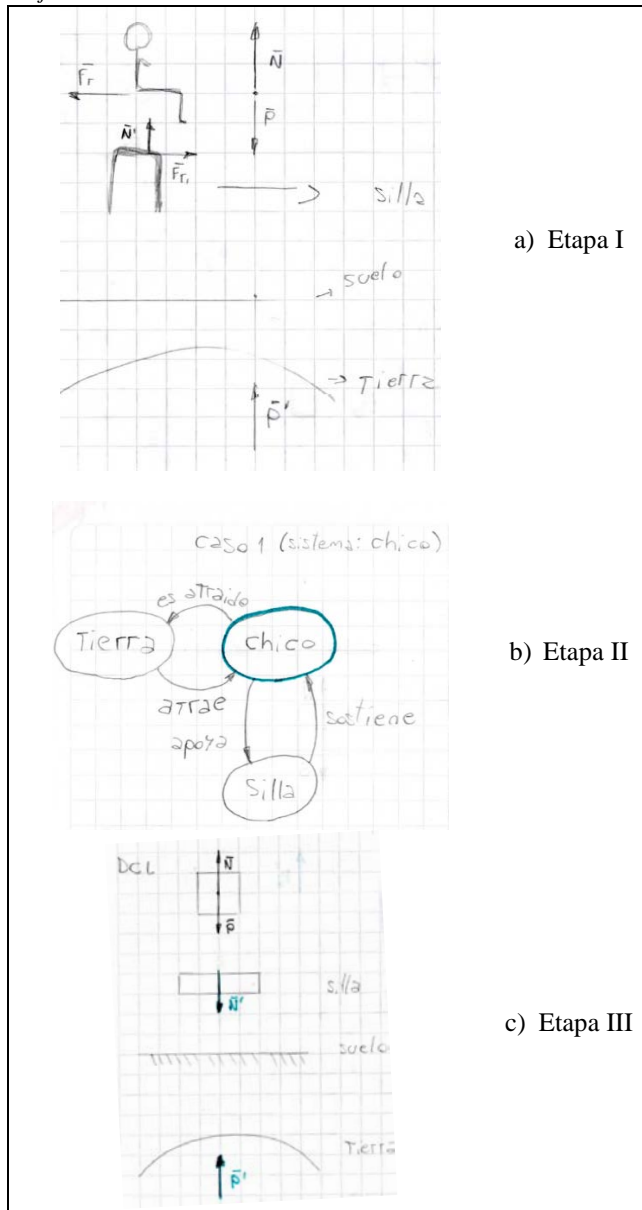


FIGURA 6. Resolución de la situación S2 del estudiante C. Etapas I, II y III.

Estudiante D: La primera etapa de S1 y S2, se refleja en las Figuras 7 y 8.

Se observa que el estudiante ha conceptualizado, desde el inicio, la tercera ley de Newton al explicitar en forma correcta las interacciones entre el sistema y la Tierra, el piso y, cuando corresponde, el banco (Figuras 7.a y 8.a). Lo particular de ambas resoluciones, es la aparición de pseudo fuerzas en la dirección horizontal, a las que llama F y F' , indicando que son “fuerzas de la niña para equilibrarse”. Además, este estudiante indica dos fuerzas peso (P_1 y P_2) cuando el cuerpo en estudio está apoyado en más de un punto. Se pone en evidencia la aparición del “peso distribuido”, aspecto detectado en estudios previos [1, 23]

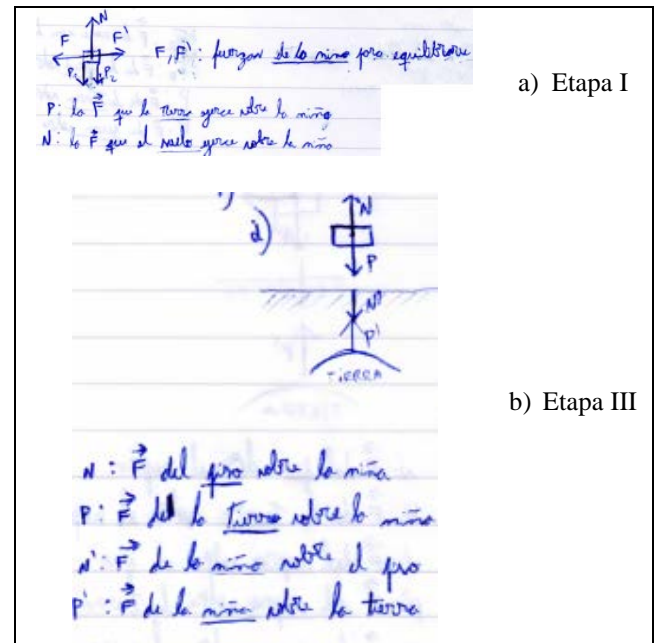


FIGURA 7. Resolución de la situación S1 del estudiante D. Etapas I y III.

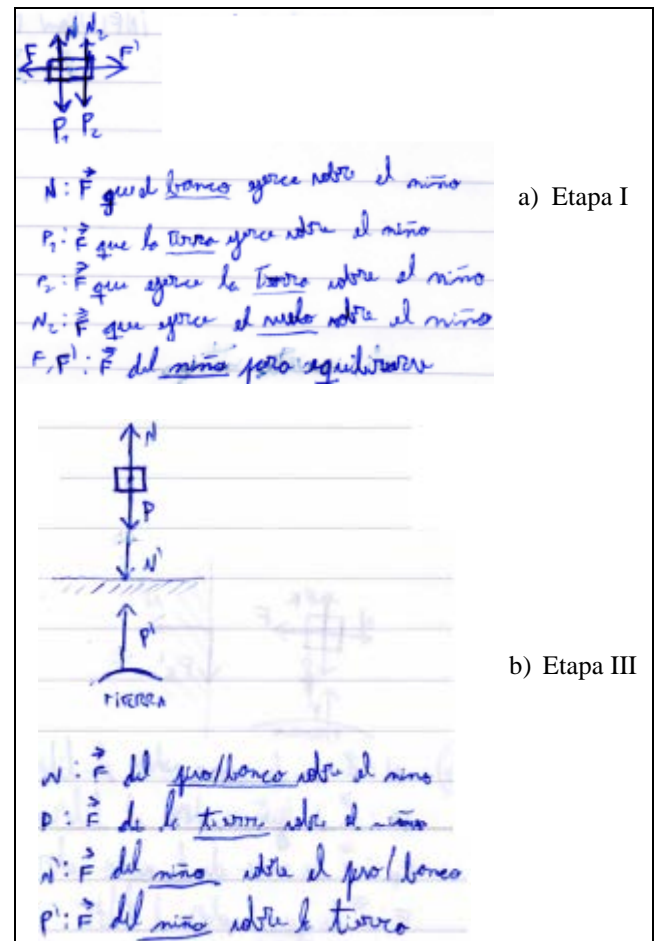


FIGURA 8. Resolución de la situación S2 del estudiante D. Etapas I y III.

Si bien este estudiante no dibuja un DI con el formato discutido en clase, puede observarse una etapa III (Figura 7.b y 8.b) donde explicita el carácter de cada fuerza como resultado de una interacción, evolucionando a un DCL adecuado. **Estudiante E:** En la etapa I de la situación S1, realiza un esquema inicial en el que reconoce las fuerzas actuantes, representándolas con flechas no aplicadas sobre cuerpo alguno y sentido hacia la niña (Figura 9.a). Explicita la interacción con la Tierra y la fuerza normal sobre la niña sin incluir la reacción de dicha fuerza. Al dibujar el DI (Figura 9.b) reconoce todos los elementos del MA y vuelve a escribir correctamente la interacción con la Tierra. Solo reconoce la acción del piso sobre el sistema, que puede interpretarse como parte de un DA. De todas maneras, a este estudiante también le resulta funcional tal diagrama para realizar un DCL final adecuado, indicando los pares acción-reacción (Figura 9.c). Este estudiante trabaja en forma similar a la situación analizada cuando resuelve S2, reconociendo como elemento del MA al banco, llegando a un DCL final adecuado.

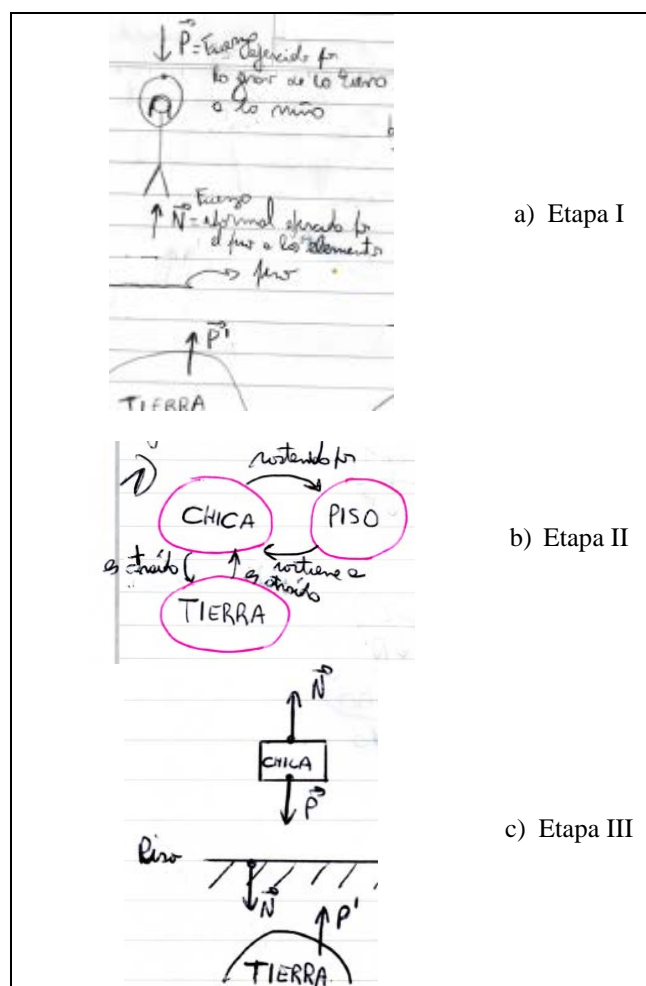


FIGURA 9. Resolución de la situación S1 del estudiante E. Etapas I, II y III.

V. CONSIDERACIONES FINALES

El análisis de los protocolos de los estudiantes permitió dar significado a sus representaciones externas, a partir de las

cuales fue posible inferir las características de los modelos mentales por ellos construidos, reconociendo sesgos y creencias que dificultan el análisis dinámico de las situaciones planteadas. La mayoría de los estudiantes presentan en sus diagramas de DCL iniciales, dificultades en el reconocimiento de las fuerzas y en la justificación del equilibrio. Estas fallas en el modelado inicial, asociadas a sesgos cognitivos, permiten inferir que las representaciones que construyen las realizan a partir de MM incompletos o inconsistentes.

En la Etapa III estos estudiantes construyen modelos que resultarían ser completos y consistentes con la situación de equilibrio desde la interpretación de sus gráficos vectoriales, observándose todos los cuerpos involucrados y los pares de acción y reacción. Pero es de notar, del análisis de los DI y de las palabras que utilizan para explicitar las interacciones, que en algunos casos aún no han conceptualizado la tercera ley de Newton, ya que focalizan en las acciones del MA sobre el sistema en estudio. Estos DI permiten, en muchos de los casos, reconocer que modelos aparentemente completos y consistentes inferidos a partir de los DCL finales son, sin embargo, incoherentes con la concepción de las fuerzas como resultado de interacciones.

El mencionado DA introducido en este trabajo se interpreta como un recorte del DI, ya que el estudiante reconoce las dos fuerzas actuantes pero las interpreta focalizadas en solo uno de los cuerpos interactuantes, limitando su conceptualización de la tercera ley de Newton. Cabe destacar que, sin embargo, le resulta funcional para construir un DCL final correcto. Esto es así porque el DA se centra en el sistema en estudio (en ambas situaciones una persona) y es aquí que el sesgo de creencia se constituye en un obstáculo para la comprensión de la fuerza como interacción. Sin embargo este diagrama también tiene un efecto facilitador para la confección de un DCL final adecuado.

VI. REFERENCIAS

- [1] Rosolio A., Sánchez, P., Llonch E., *Identificación de fuerzas en situaciones de equilibrio: un estudio con alumnos ingresantes a la universidad*, Revista de Enseñanza de la Física, **26**, 195-205 (2014).
- [2] Rosolio, A., Sánchez, P., Cassan, R., Llonch, E. *Reconocimiento de fuerzas y resolución en voz alta. Un método de análisis*, Revista de Enseñanza de la Física **27**, 243-250 (2015).
- [3] Savinainen, A., Mäkyinen, A., Nieminen, P., Viiri, J., *Does using a visual-representation tool Foster students' ability to identify forces and construct free-body diagrams*, Physical Review Special topics- Physics Education Research **9**, 010104 (2013).
- [4] Tiberghien, A., Vince, A., Gaidioz, P., *Design-based research: Case of a teaching sequence on mechanics*, International Journal of Science Education **31**, 2275 (2009).
- [5] Hinrichs, B., *Using the system schema representational tool to promote student understanding of Newton's third law*, AIP Conference Proceedings **790**, 117-120 (2005).

- [6] Turner, L., *System schemas*, The Physics Teacher **41**, 404 (2003).
- [7] Stavrum, L., Bungum, B., Persson, J., *Never at rest, developing a conceptual framework for definitions of 'force' in physics textbooks*. <<https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1506/1506.06562.pdf>> Consultado el 14 de abril de 2016.
- [8] Jiménez, J., Perales, F. *Graphic representation of force in secondary education: Analysis and alternative educational proposals*, Physics Education **36**, 227 (2001).
- [9] Hellingman, C., *Newton's third law revisited*, Physics Education **27**, 112 (1992).
- [10] Brown, D., *Students' concept of force: The importance of understanding Newton's third law*, Physics Education **24**, 353 (1989).
- [11] Llonch, E., Rosolio, A., Sánchez, P., *Comprensión y modelización en la resolución de un problema de Dinámica*, Memorias del XI Simposio de Investigación en Enseñanza de la Física, Argentina (2012).
- [12] Llonch, E., Rosolio, A., D'Amico, H., Sánchez, P., *Sesgos en la resolución de un problema de dinámica*. Memorias de la XVII Reunión Nacional de Educación en Física, Argentina (2011).
- [13] Wendel, P., *Adding value to force diagrams: Representing relative force magnitudes*, The Physics Teacher **49**, 308 (2011).
- [14] Rosengrant, D., Van Heuvelen, A., Etkina, D., *Do students use and understand free-body diagrams*, Physics Review Special Topics Physics Education Research **5**. (2009).
- [15] Scherr, R., Redish, E., *Newton's zeroth law: Learning from listening to our students*, The Physics Teacher **43**, 41 (2005).
- [16] Savinainen, A., Scott, P., *Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching*, Physics Education **37**, 53 (2002).
- [17] Newburgh, R., *Force diagrams: How? and why?*, The Physics Teacher **32**, 352 (1994).
- [18] Steinberg, S., Brown, D., Clement, J., *Genius is not immune to persistent misconceptions*. International Journal of Science Education. **12** (3), 265-273 (1990).
- [19] Johnson-Laird, P., *Mental models* (Harvard University Press, Cambridge, 1983).
- [20] Sánchez, P., *Las representaciones mentales en la resolución de problemas de mecánica clásica*. Tesis Doctoral, Facultad de Psicología-UNED, Madrid, España (2011). Disponible en: <http://e-spacio.uned.es/fez/eserv/tesisuned:Psicologia-Pmsanchez/Documento.pdf>
- [21] García Madruga, J. A., *Lectura y conocimiento* (Paidós y UNED, Barcelona, 2006).
- [22] Perkins, D. N., Faraday, M. and Bushey, B., *Everyday reasoning and the roots of intelligence*, en: Voss, Perkins & Segal (Eds.), *Informal Reasoning and Education*, 83-105 (LEA, Hillsdale, New Jersey, 1991).
- [23] Jiménez Gómez, E., Martín Martínez, N., Solano Martínez, I., (1999). *Revisión Bibliográfica sobre la evolución de las ideas de los alumnos sobre el concepto de fuerza en situaciones de equilibrio estático*, Universidad Pedagógica Nacional, Colombia. <<http://www.pedagogica.edu.co>> Consultado el 19 de mayo de 2016.