

Fuerzas como expresión de las interacciones entre cuerpos: dificultades detectadas en el uso del *diagrama de interacción*

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Forces as the result of interactions between bodies: difficulties detected in the use of the *interaction diagram*

Alejandra Rosolio¹, Ricardo Addad¹ y Patricia Sánchez¹

¹Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Av. Pellegrini 250, CP2000, Rosario, Santa Fe, Argentina.

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

Resumen

Las dificultades en el reconocimiento de fuerzas y la elaboración de los llamados Diagramas de Cuerpo Libre (DCL) han sido objeto de numerosas publicaciones. En investigaciones previas se detectaron dificultades de los estudiantes al identificar los cuerpos del medio ambiente que interactúan con el sistema en estudio y se mostró la utilidad de trabajar con herramientas de representación visual como por ejemplo los llamados Diagramas de Interacción (DI) que prescinden, en una primera etapa, de la consideración del carácter vectorial de las fuerzas. Si bien los DI son una herramienta de representación visual efectiva en el reconocimiento de las interacciones entre objetos presentan, en algunas situaciones, problemas en su traducción a un DCL correcto. Se analizaron las actuaciones de 93 estudiantes ingresantes a carreras de ingeniería cuando resuelven situaciones problemáticas que involucran contacto entre cuerpos en dirección perpendicular a la superficie de la Tierra, obteniéndose resultados que hacen reflexionar acerca de la forma en que se deben presentar los DI para evitar los conflictos que pudieran surgir en el aula en este tipo de situaciones.

Palabras clave: Fuerzas; Interacción; Diagrama de interacción; Diagrama de cuerpo libre.

Abstract

The difficulties in the recognition of forces and the elaboration of the so-called Free Body Diagrams (FBD) have been the subject of numerous publications. In previous investigations, students' difficulties were recognized by identifying the bodies of the environment that interact with the system under study and showed the usefulness of working with visual representation tools, such as the so-called Interaction Diagrams (DI) that dispense, in a first stage, of the consideration of the vectorial character of the forces. Although DI are an effective visual representation tool in the recognition of interactions between objects, they present problems in their translation to a correct DCL in some situations. The actions of 93 incoming students to engineering careers were analyzed when they solve problematic situations that involve contact between bodies in a direction perpendicular to the surface of the Earth, obtaining results that we think about the way in which the ID should be presented to avoid the conflicts that could arise in the classroom in this type of situations.

Keywords: Forces; Interaction; Interaction Diagram; Free Body Diagram.

I. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca en un proyecto de investigación que indaga las actuaciones de los estudiantes al resolver situaciones que involucran el reconocimiento de fuerzas y la elaboración de los diagramas de cuerpo libre (DCL) en situaciones problemáticas presentadas en el desarrollo de cursos de Mecánica básica universitaria. Las dificultades de los estudiantes en el reconocimiento de fuerzas y su representación han sido objeto de numerosas investigaciones en el campo de la enseñanza de las ciencias (Llonch y otros, 2011; 2012; Newburgh, 1994; Rosengrant y otros, 2009; Savinainen y otros, 2013; Scherr y otros, 2005; Wendel, 2011; Heckler, 2010; Zhou y otros, 2015). En nuestra investigación marco general "Las representaciones múltiples y el lenguaje en la construcción e interpretación de los diagramas de cuerpo libre", radicada en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la Universidad

Nacional de Rosario (UNR), se indaga específicamente acerca de las características de las representaciones internas de los estudiantes cuando modelizan situaciones problemáticas de Dinámica a partir de las representaciones externas que ellos elaboran, posibilitando la identificación de posibles sesgos cognitivos que obstaculizan la construcción e interpretación de los DCL. En su desarrollo, se ha trabajado en el diseño de herramientas que permitan sortear algunas de estas dificultades, proponiendo estrategias que han sido utilizadas en situaciones de enseñanza-aprendizaje, considerando los llamados diagramas de interacción (DI) (Rosolio y otros, 2016; Addad y otros, 2016). Estos DI son herramientas de representación visual de las interacciones entre objetos y son utilizados en los procesos de enseñanza-aprendizaje para favorecer el reconocimiento de fuerzas en su carácter de interacción, en una etapa previa a la construcción de los DCL correspondientes. Varias publicaciones en enseñanza de las ciencias dan cuenta de los beneficios del empleo de estas representaciones en los cursos básicos de física (Tiberghien y otros, 2009; Hinrichs, 2005; Turner, 2003).

Este trabajo encuentra su motivación al considerar que en la aplicación áulica efectiva del DI se han detectado conflictos entre los objetivos esperados y los resultados obtenidos en determinados casos de contacto entre cuerpos como los presentados en esta investigación. Se asume que la elección de diferentes elementos como sistema bajo estudio y la multiplicidad de objetos, dificultan el reconocimiento de las fuerzas implicadas conduciendo a una transferencia errónea al DCL correspondiente.

II. REFERENCIALES TEÓRICOS

Los DCL como representación gráfica de las fuerzas que los distintos cuerpos del medio ambiente ejercen sobre un cuerpo determinado, son de uso habitual en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Mecánica, como así también en las actividades profesionales de ingenieros y físicos. En estos diagramas cada fuerza que actúa sobre un cuerpo bajo estudio se representa mediante un vector con origen en el mismo, cuya dirección y sentido indican la interacción existente con otro cuerpo del medio ambiente. Una vez obtenido el correspondiente DCL, es necesario para su análisis y verificación no solo las consideraciones iniciales del movimiento, sino también incorporar la Segunda Ley de Newton primariamente en su forma cualitativa (relación causa-efecto), recordando que ésta busca una causa para explicar cualquier salida del estado mecánico de equilibrio. Esto no solo permitirá la verificación del DCL, sino nos conducirá a no considerar en ellos interacciones que no pueden ser traducidas a fuerzas en su sentido mecánico: "*ese aspecto de una interacción que hace que la velocidad de una partícula cambie*" (Addad y otros, 2016). Este aspecto se pone de manifiesto en la primera de las situaciones presentadas en este trabajo, donde un cuerpo en reposo está en contacto con una superficie vertical.

El desarrollo de la Mecánica Clásica tiene como uno de sus conceptos básicos al de fuerza, constituyéndose en el elemento central de las tres leyes de Newton de la Dinámica. Su aprendizaje presenta numerosas dificultades debido a su carácter abstracto. Una idea primaria que permite facilitar su comprensión es considerarla como un empujón o un tirón actuando sobre un cuerpo como resultado de una interacción con otro cuerpo (Savinainen y otros, 2013). Seleccionado el sistema bajo estudio, la idea de empujón o tirón conlleva el sentido saliente o entrante desde el sistema, no existiendo restricción en la dirección. En la Mecánica, algunas fuerzas son el resultado de interacciones a "distancia", como la atracción gravitatoria, y otras resultan de "contacto". Detrás de esta idea supuesta ingenua, surge entonces un interrogante natural acerca de la existencia de una idea más profunda y que la incluya.

En física existen elaboraciones que resultan de interpretaciones alternativas a la mecánica newtoniana, por ejemplo, la formulación lagrangiana y hamiltoniana que prescinden de la idea de fuerza y sugieren algo subyacente. Este nivel más profundo de la física es la idea de *interacción*: dos cuerpos interaccionan o interactúan entre ellos cuando de alguna manera uno es capaz de influir sobre el otro, y recíprocamente, el segundo también influye en el primero.

Al interactuar dos partículas entre sí intercambian cantidades físicas fundamentales como la cantidad de movimiento y la energía. Al considerar la Mecánica Cuántica, esta idea conduce a la interacción de los cuantos de los campos y al intercambio de otras cantidades físicas tales como la carga, spin, etc. En este contexto, *las interacciones pueden considerarse como las unidades básicas del cambio*, y por lo tanto de la *causalidad* en nuestro universo, manifestándose en cuatro tipos: fuertes, débiles, electromagnéticas y gravitacionales. Por lo general, en física llamamos a estas interacciones fundamentales "fuerzas", y ellas son responsables de mucho más que simplemente cambiar la velocidad de una partícula.

Focalizando en el modelo clásico de una interacción, consideramos dos partículas colisionando. Nos centramos en comparar lo que conocemos acerca de las partículas antes y después de la interacción que ocurre durante la colisión. Debido a ésta, la velocidad de cada partícula cambia. Si observáramos a una de ellas podríamos decir que se comportó como si fuera empujada o tirada de alguna manera, correspondiendo este resultado a nuestra noción primaria ingenua de fuerza, pero debemos ser cautelosos en este análisis.

sis. Al usar la palabra fuerza, solo queremos considerar, clásicamente, *ese aspecto de una interacción que hace que la velocidad de una partícula cambie*. Nuestra idea de interacción también incluye el hecho de que la energía y el impulso sean transferidos. Estas transferencias permanecen al profundizar en los mecanismos de la interacción, mientras que nuestra idea ingenua de fuerza se diluye, *sólo es una parte de la interacción*. Al observar la otra partícula involucrada en la interacción determinamos que cambió su velocidad, indicando que también ella experimentó una fuerza. En la interpretación que hace la mecánica clásica sin incluir los campos, observamos que cada interacción siempre da lugar a un par de fuerzas que poseen un conjunto notable de propiedades, hecho que sugiere la naturaleza recíproca de toda interacción.

Este modo de conceptualización de las fuerzas marca un profundo cambio conceptual con el propósito de unificar y conectar en una idea (la *interacción*) una serie de conceptos acerca de las fuerzas que por lo general permanecen aislados en los estudiantes. Asimismo, también se conectan más firmemente los conceptos de fuerza y energía cuando los estudiantes reconocen que ambos implican el seguimiento de cantidades de interés durante los procesos de interacción.

La comprensión adecuada del concepto de fuerzas en física implica el reconocimiento de las mismas como resultado de interacciones (Jiménez y otros, 2001; Hellingman, 1992) y es en la tercera ley de Newton donde esta concepción se manifiesta, al enfatizar la individualización del agente del medio ambiente que ejerce cada fuerza sobre el cuerpo en estudio. Por lo tanto, para lograr un aprendizaje significativo de este concepto, es necesario orientar a los estudiantes a pensar primero en las interacciones entre los objetos, enfatizando la característica de las mismas como una vía de doble sentido.

Las dificultades de los estudiantes para reconocer fuerzas y para elaborar los DCL ha sido objeto de múltiples investigaciones en el campo de la enseñanza de las ciencias y reforzada en algunos casos en los libros de texto (Rosolio y otros, 2015, Steinberg y otros, 1990; Zhou y otros, 2015, Hellingman, 1992).

Los DI (Savinainen y otros, 2013) se utilizan como herramienta didáctica con el fin de facilitar la elaboración de los DCL. 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 en su idea ingenua. En los DI se incluyen tanto el objeto de estudio, que constituye el sistema (S) como los cuerpos que interactúan con él, identificados como medio ambiente (MA). Las diferentes interacciones se describen con un par de textos breves ubicados sobre las líneas de conexión de doble vía entre S y cada elemento del MA, a fin de establecer una correspondencia entre el DI y la tercera ley de Newton. De este modo, los DI se convierten en un instrumento facilitador en la comprensión de que cada fuerza es resultado de una interacción. Sin embargo, es importante señalar que el DI no muestra el estado de movimiento; es indiferente respecto a las características de velocidad y aceleración porque no contiene información alguna acerca de las magnitudes de las fuerzas aplicadas.

III. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se realizó a partir del análisis de 93 protocolos escritos, obtenidos en dos grupos de 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.

Los estudiantes habían completado la Unidad 1 “Magnitudes, unidades y mediciones” y en la Unidad 2 se desarrolla el concepto de fuerza como resultado de una interacción mecánica, trabajando solo en situaciones de equilibrio. La secuencia didáctica correspondiente a esta última unidad se organizó comenzando con una indagación previa acerca de las ideas del estudiante sobre las fuerzas, para lo cual se elaboró un instrumento escrito donde se presentaron cuestiones cotidianas que involucraban diversos elementos. Se solicitaba a cada estudiante que escriba qué “fuerzas siente” cada uno de los cuerpos, explicando por qué “piensan que aparecen dichas fuerzas”. Se pedía además que acompañaran dichas explicaciones con un dibujo y/o esquema de las fuerzas reconocidas. En todos los casos se incluyó un sujeto para estudiar el efecto de su presencia como parte del sistema, bajo la hipótesis de que su inclusión favorece la conformación de un modelo que remite a experiencias previas (Sánchez y otros, 2008), asumiéndose que la percepción es determinante en la elaboración del modelo de situación desde el cual resuelven. En una segunda etapa desarrollada en la clase siguiente, los estudiantes leyeron en forma individual el material de aula de la asignatura, acerca de generalidades de la idea de fuerza como interacción, presentándose a continuación un nuevo instrumento en formato papel. El mismo también involucraba objetos y personas, poniendo énfasis para cada cuestión en la idea de interacción. Como ejemplo, se analizaron las interacciones entre el S y cada uno de los elementos del MA presentes en una de las situaciones, utilizando verbos tirar o empujar para indicar las acciones mutuas, a fin de fortalecer el reconocimiento de las fuerzas como una vía de doble sentido entre el S y el MA. A continuación, se presentó el llamado “diagrama de interacción” (Rosolio y otros, 2016), en el cual se esquematizan las interacciones reconoci-

das. El caso analizado se muestra en la figura 1.a y en la figura 1.b se muestra el esquema del DI presentado a los estudiantes. Esta primera actividad, que debían resolver individualmente, presentaba un nadador en diferentes posiciones en su salto desde un trampolín. Las siguientes tareas que debían abordar involucraban diferentes objetos y personas.

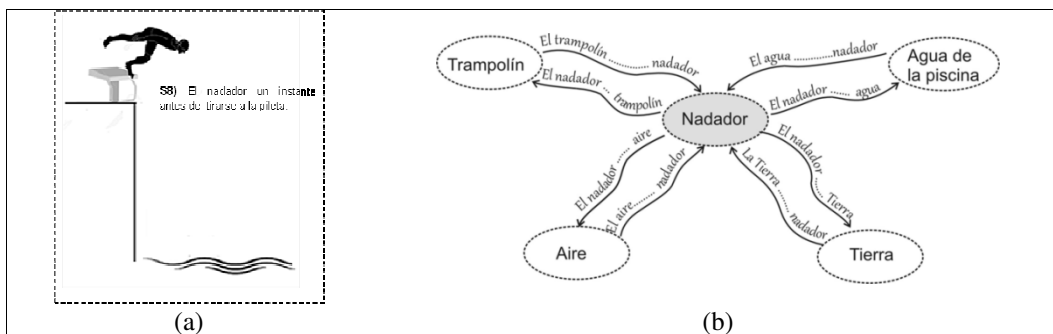


FIGURA 1.(a) Caso analizado para para presentar el DI; (b) Esquema del DI.

En la clase siguiente se aplicó un tercer instrumento donde se presentaron varias situaciones con un niño de pie y una caja (ambos en equilibrio mecánico y en estado de reposo), con una consigna textual acompañada por un dibujo ilustrativo, de resolución individual. Cabe aclarar que en el instrumento se incluían otras situaciones, pero en este trabajo solo presentaremos dos (figuras 2.a y 2.b) que son de interés por la problemática específica de la interacción de contacto vertical entre cuerpos. La figura 2.a corresponde a la que llamaremos situación problemática 1 (SP1) y la 2.b. corresponde a la situación problemática 2 (SP2).

A continuación, se presenta el enunciado de tales situaciones:

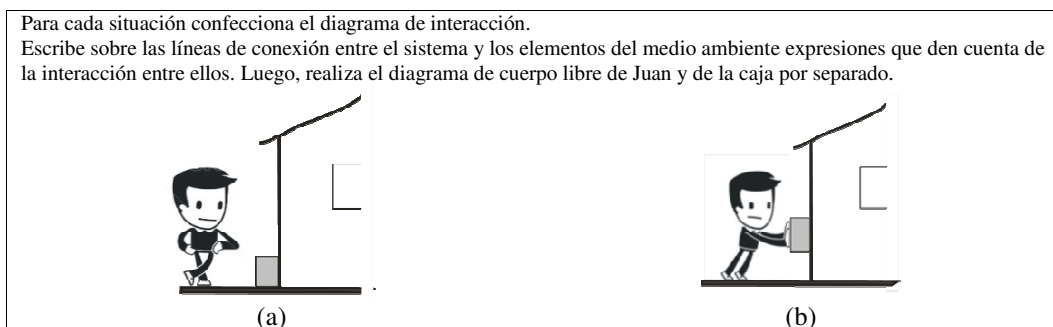


FIGURA 2. (a) SP1; (b) SP2.

Estas situaciones permitieron indagar acerca del reconocimiento de las interacciones presentes a través del DI elaborado y su traducción al DCL. Aquí el término traducción se utiliza en el sentido del cambio en la representación de la información proporcionada en cada línea de conexión entre el S y los elementos del MA en el DI. Es decir, indica el pasaje de la idea primaria de un empujón o un tirón a un formato vectorial de la fuerza, en su sentido mecánico, que requiere el DCL.

Para analizar e interpretar los datos se aplicó una metodología cualitativa. Acordados los criterios, cada investigador analizó individualmente los protocolos. Las dimensiones de análisis consideradas fueron:

- Selección del sistema de estudio: a partir de la información consignada en los DI;
- Consideración de la interacción de contacto pared-caja en el DI (para situación 1 y 2);
- Consideración de la interacción de contacto niño-caja en el DI (para situación 2);
- Traducción de la interacción de contacto al DCL para ambas situaciones. Se analizaron las expresiones que los estudiantes volcaron en cada una de las líneas de conexión entre el S y los elementos del MA y su representación como vector en el DCL;
- Representación de la fuerza de contacto en el DCL (niño-caja y caja-pared) para ambas situaciones. Aquí se considera la interacción de contacto traducida tanto como una fuerza en una dirección arbitraria o con la representación en dos direcciones perpendiculares (tangencial y normal a la superficie de apoyo vertical). Se considera correcta la fuerza de contacto en el DCL si la misma conlleva la realización de un DCL coherente con el estado de movimiento.

Como paso previo a la presentación de resultados se aplicó la triangulación de investigadores para obtener una mayor credibilidad de los resultados alcanzados, al contar con distintas perspectivas de un mismo objeto de estudio, minimizándose así el sesgo de un único investigador.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

A. Selección del sistema de estudio

Para esta dimensión de análisis se observa (figura3) que, tanto en la situación problemática SP1 como en la SP2, la mayoría de los estudiantes (80% para S1 y 76% para S2) centran su atención en el niño al seleccionarlo como sistema, repartiéndose casi por igual la cantidad de estudiantes que realizan un DI seleccionando solo al niño como S o realizan dos DI (uno centrado en el niño y otro en la caja). Estos resultados concuerdan con investigaciones anteriores que indican que la inclusión de personas favorece la conformación de un modelo que remite a experiencias previas (Sánchez y otros, 2008), asumiéndose que la percepción es determinante en la elaboración del modelo de situación desde el cual resuelven.

Continuando con esta dimensión se observa que la modalidad asociada a la selección de ambos como S (niño y caja) es levemente mayor para SP1 que para SP2 (42% y 36% respectivamente). En este sentido, se puede inferir que no resulta significativo para aquellos que seleccionaron niño y caja como S, que estos interactúen entre ellos o no. Esto confirma nuestra aseveración acerca de la relevancia que le asignan a la presencia de personas como elemento presente en la situación que consideren, independiente de su interacción o no con el otro elemento a considerar.

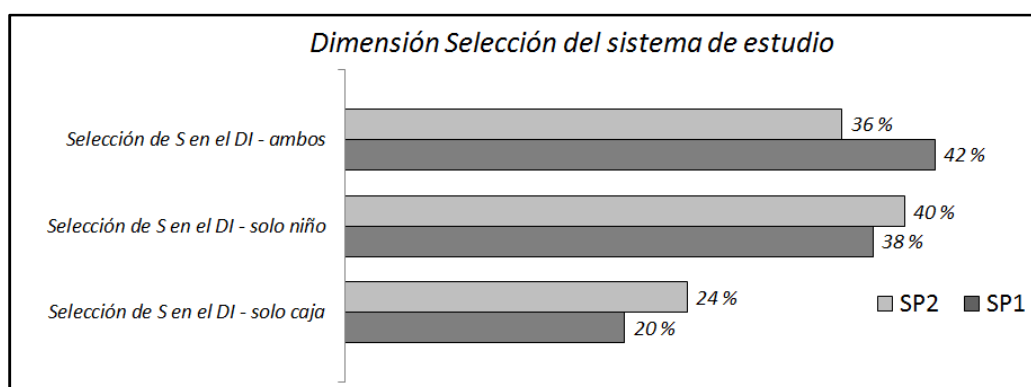


FIGURA 3. Resultados para la dimensión de análisis selección del S a partir del DI (expresados en porcentaje).

B. Consideración y traducción al DCL de la interacción de contacto pared - caja

En cuanto a la consideración de la interacción de la pared y la caja en el DI, en el caso de la SP1 se observan porcentajes similares, cercanos al 60%, tanto para aquellos que seleccionan como S ambos (niño y caja) como los que seleccionan solo la caja (figura4). Alrededor del 40% de cada uno de estos grupos traducen en forma esperada la interacción de contacto al DCL, infiriéndose que en esta situación estos estudiantes consideran que la pared es relevante.

Para el caso de la SP2 (figura5), los porcentajes de reconocimiento de esta interacción aumentan notablemente (88% para los que seleccionan como S ambos y el 100% de los que toman a solo la caja). La presencia de la pared es determinante para que la caja resista el empuje del niño, tornándose más visible la interacción. En cada grupo, el porcentaje de aquellos que logran traducir esta interacción al DCL aumenta notablemente a un 69% en el caso que consideran a ambos como sistema y 82% aquellos que consideran sólo la caja.

C. Consideración y traducción al DCL de la interacción de contacto niño-caja

En cuanto a la consideración de la interacción del niño y la caja en el DI, en el caso de la SP2 se observan porcentajes similares cercanos al 90%, tanto para aquellos que seleccionan como S ambos (niño y caja) como los que seleccionan solo la caja (figura6). El 56% de los primeros y el 64% de los segundos traducen adecuadamente al DCL. Todos aquellos que seleccionaron solo al niño, consideraron la interacción de referencia, logrando una efectividad del 72% en su traducción al DCL correspondiente.

D. Representación de la fuerza de contacto en el DCL

Al analizar la confección del DCL para las situaciones planteadas, si bien los estudiantes logran traducir las interacciones a fuerzas, encuentran obstáculos que surgen del estado de movimiento y multiplicidad de objetos presentes, logrando un resultado final no acorde con lo esperado. En SP1 (figura4), logran una mayor efectividad en la construcción correcta del DCL los que consideraron como sistema solo al niño, mostrando un esquema aprendido de una caja en reposo apoyada sobre una superficie horizontal (el piso) sin justificar la no consideración de la interacción pared-caja y su ausencia al traducir al DCL. Aquellos que seleccionaron solo a la caja como sistema lograron un resultado superior (67%) a aquellos que tuvieron en cuenta además de ella también al niño (37%); el resto no logra articular la idea de la presencia de la interacción pared-caja y la ausencia de una fuerza en el DCL correspondiente: fuerza "ese aspecto de una interacción que hace que la velocidad de una partícula cambie".

En SP2 (figuras5 y 6), se logran resultados menos satisfactorios al considerar multiobjetos(niño-caja-pared), con construcciones correctas de DCL en porcentajes que no superan 37% en los casos que se selecciona como sistema a la caja y a ambos, y logrando un porcentaje superior (50%) en el DCL correcto (figura5) para la interacción pared-caja aquellos que selecciona como sistema solo al niño.

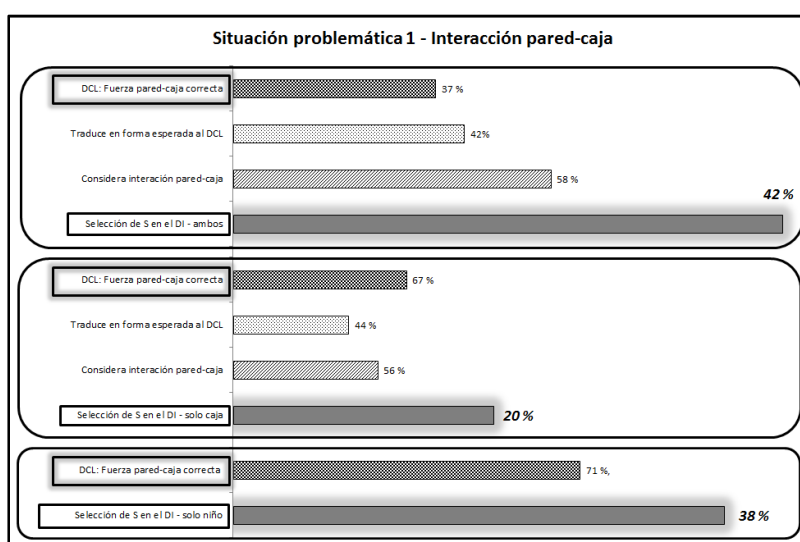


FIGURA 4. Resultados para la SP1 de las dimensiones de análisis correspondientes a la interacción pared-caja (expresados en porcentaje).

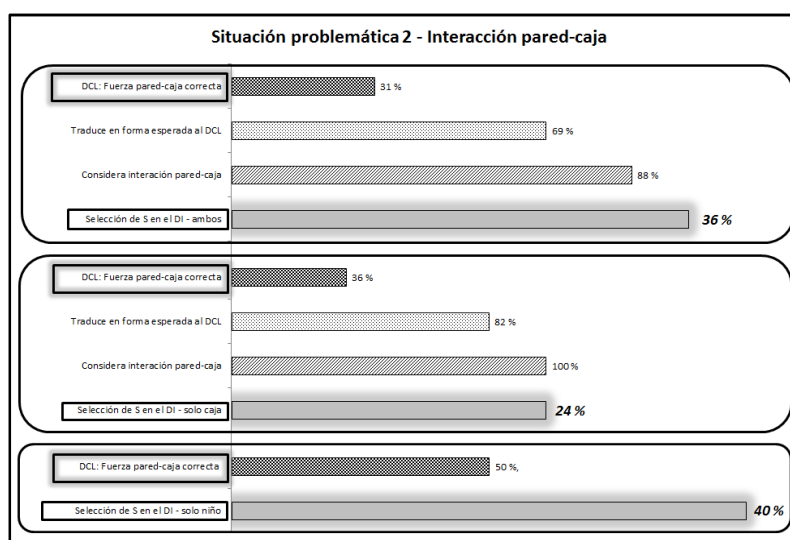


FIGURA 5. Resultados para la SP2 de las dimensiones de análisis correspondientes a la interacción pared-caja (expresados en porcentaje).

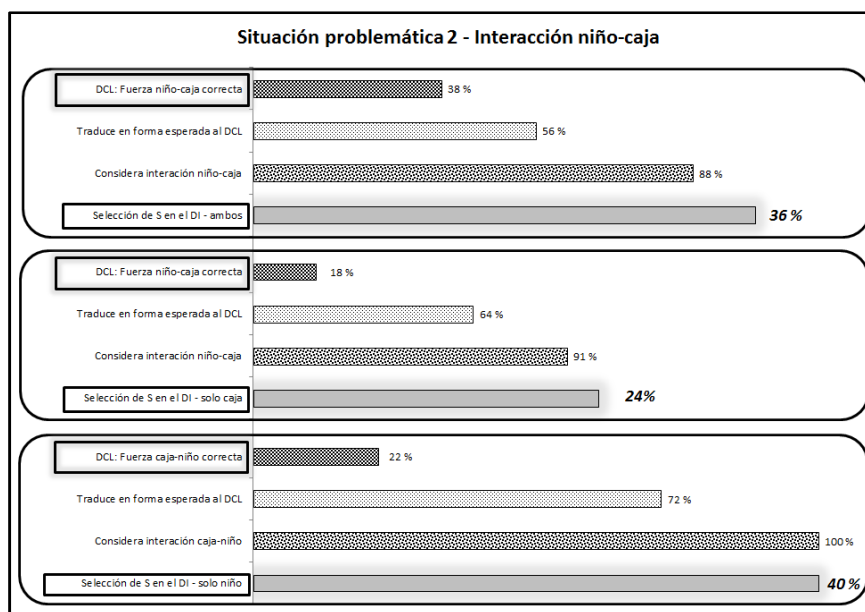


FIGURA 6. Resultados para la SP2 de las dimensiones de análisis correspondientes a la interacción niño-caja (expresados en porcentaje).

V. REFLEXIONES FINALES

Los resultados obtenidos nos hacen reflexionar acerca del uso de los DI, y otras representaciones visuales, y los conflictos que en su uso áulico pudieran surgir. Si bien son una herramienta de representación visual efectiva en el reconocimiento de las interacciones entre objetos, presentan en algunas situaciones problemas en su traducción a un DCL correcto. En este trabajo hemos mostrado la presencia de conflictos entre los objetivos esperados y los resultados obtenidos en el caso de contacto entre cuerpos en dirección perpendicular a la superficie de la Tierra. En las situaciones de contacto presentadas, se evidencia que la elección de diferentes elementos como sistema bajo estudio y la multiplicidad de objetos, dificultan el reconocimiento de las interacciones implicadas conduciendo a una transferencia errónea al DCL correspondiente.

Considerando la SP1, la correcta ausencia de la interacción pared-caja en el DCL puede ser mejor comprendida si se explicita a los estudiantes que los DI no muestran el estado de movimiento; es indiferente respecto a las características de velocidad y aceleración porque no contiene información alguna acerca de las magnitudes de las interacciones aplicadas. La adecuada traducción a un DCL deberá ser complementada considerando un análisis cualitativo del posible estado de movimiento, condiciones iniciales y fuerza neta, o bien al realizar esta traducción complementar la idea primaria de fuerza con su relación a la interacción, considerando aquella parte de ella responsable del cambio de velocidad.

La SP2 es un claro ejemplo en la cual, la elección del sistema de estudio se convierte en una decisión clave en el camino a la resolución adecuada de la situación problemática; este aspecto raramente se aborda explícitamente en las clases de resolución de problemas. Es así que en muchas ocasiones se presume que los estudiantes adquirirán dicha destreza a partir de su propia práctica, hecho que rara vez ocurre. La elección del conjunto adecuado de objetos a agrupar o no para ser considerado como “el sistema bajo estudio” y el análisis de las consecuencias de tal elección, debería realizarse primariamente al DI reflexionando sobre ventajas y desventajas de su elección.

REFERENCIAS

Addad, R., Llonch, E., Rosolio, A. y Cassan, R. (2016). Las fuerzas como expresión de las interacciones entre cuerpos: una propuesta de trabajo en el aula. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29(Extra),373-380.

Hellingman, C. (1992). Newton’s third law revisited. *Physics Education*, 27,112-116.

Heckler, A. (2010). Some Consequences of Prompting Novice Physics Students to Construct Force Diagrams. *International Journal of Science Education*, 32(14),1829-1851.

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

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

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*, Argentina.

Llonch, E., Rosolio, A. y Sánchez, P. (2012). Comprensión y modelización en la resolución de un problema de Dinámica. *Memorias del XI Simposio de Investigación en Enseñanza de la Física*, Argentina.

Newburgh, R. (1994). Force diagrams: How? and why? *The Physics Teacher*, 32, 352.

Rosengrant, D., Van Heuvelen, A. y Etkina, D. (2009). Do students use and understand free-body diagrams. *Physics Review Special Topics Physics Education Research*, 5 (01108), 1-13.

Rosolio, A., Sánchez, P., Cassan, R. y Llonch, E. (2015). Reconocimiento de fuerzas y resolución en voz alta. Un método de análisis. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27, 243-250.

Rosolio, A., Sánchez, P., Llonch, E. y Cassan, R. (2016). Los diagramas de interacción en la enseñanza de la Física básica universitaria. *Libro de la IV Jornada de Experiencias Innovadoras en Educación en la FCEIA*. Rosario: Editorial Asociación de Profesores de la FCEIA, UNR.

Sánchez, P., Massa, M. y Rosolio, A. (2008). A problem with different solutions: a study of university students' modeling and reasoning. *Proceedings GIREP 2008 International Conference and MPTL Workshop*. Chipre.

Savinainen, A., Mäkynen, A., Nieminen, P. y Viiri, J. (2013). 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), 1-11.

Scherr, R. y Redish, E. (2005). Newton's zeroth law: Learning from listening to our students. *The Physics Teacher*, 43, 41-45.

Steinberg, S., Brown, D. y Clement, J. (1990). Genius is not immune to persistent misconceptions. *International Journal of Science Education*, 12(3), 265-273.

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

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

Wendel, P. (2011). Adding value to force diagrams: Representing relative force magnitudes. *The Physics Teacher*, 49, 308-311.

Zhou, S., Zhang, C. y Xiao, H. (2015). Students' Understanding on Newton's Third Law in Identifying the Reaction Force in Gravity Interactions. *Eurasia J. Math. Sci. Tech. Ed.*, 11(3), 589-599.