

# Las fuerzas como expresión de las interacciones entre cuerpos: una propuesta de trabajo en el aula

Forces as the result of interactions between bodies: work proposal for the Physics classroom

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Ricardo Addad<sup>1</sup>, Elena Llonch<sup>1</sup>, Alejandra Rosolio<sup>1</sup> y Rosana Cassan<sup>1</sup>

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

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

## Resumen

El concepto de fuerza es uno de los conceptos básicos alrededor del cual se desarrolla la mecánica clásica. En los procesos de enseñanza y aprendizaje se utilizan los llamados diagramas de cuerpo libre (DCL) como herramienta de representación visual de las interacciones. Al analizar tanto el referencial teórico correspondiente, como así también los resultados de investigaciones en enseñanza de las ciencias, surge la importancia del uso de representaciones múltiples para ayudar a los estudiantes a comprender los conceptos y resolver situaciones problemáticas. Una de estas representaciones se enfoca en el reconocimiento del concepto de fuerza como resultado de una interacción utilizando los llamados diagramas de interacción (DI) como paso previo a una adecuada elaboración de los DCL.

En este trabajo, con el fin de lograr una buena conceptualización de las fuerzas actuantes sobre un sistema, se propone una estrategia didáctica basada en la resolución de problemas ejemplos diagramados considerando multiplicidad de objetos, de sus disposiciones y estado de movimiento, utilizando para su resolución los DI.

**Palabras clave:** Fuerzas; Interacción; Diagrama de Interacción; Diagrama de Cuerpo Libre.

## Abstract

The force concept is one of the basic concepts around which Classical Mechanics is developed. In teaching and learning processes, the so-called Free Body Diagrams (FBD) are used as a visual representation tool for interactions. From both the analysis of relevant theoretical frameworks and the results of research in science education, the importance of the use of multiple representations to help students to understand concepts and solve problematic situations arises, especially the recognition of the concept of force as a result of an interaction using the so-called Interaction Diagrams (ID) as a pre-step to a proper construction of FBDs.

In this work, in order to achieve an adequate conceptualization of the forces acting upon a system, we present a didactic strategy based on problem solving activities of examples designed involving multiplicity of objects, their dispositions and states of motion. In the solving process we recommend the use of IDs.

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

## I. INTRODUCCIÓN

Las dificultades de los estudiantes en el reconocimiento de fuerzas y en la elaboración de los Diagramas de Cuerpo Libre (DCL) ha 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, 2002; 2013; Scherr y otros, 2005; Wendel, 2011; Heckel, 2010; Zhou y otros, 2015), y en la actualidad se trabaja en el diseño de herramientas que permitan sortear esas dificultades. Se han propuesto estrategias, que han sido utilizadas en situaciones de enseñanza –aprendizaje, considerando los Diagramas de Interacción (DI) (Rosolio, 2016). Estos diagramas son herramientas de representación visual que se utilizan para favorecer el reconocimiento de fuerzas como resultado de interacciones entre cuerpos, 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 múltiples en los cursos básicos de física (Rosengrant, 2007; Tiberghien y otros, 2009; Hinrichs, 2005; Turner, 2003)

El presente trabajo forma parte del proyecto de investigación marco general “Las representaciones múltiples y el lenguaje en la construcción e interpretación de los diagramas de cuerpo libre”, radicado en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR), cuyos objetivos son:

- indagar 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;
- identificar posibles sesgos cognitivos que obstaculizan la construcción e interpretación de los DCL;
- diseñar una propuesta de intervención didáctica para fortalecer el aprendizaje de la Dinámica y analizar su efectividad.

Las propuestas didácticas que se presentan tienen como objetivo particular favorecer un adecuado reconocimiento y conceptualización de las fuerzas como elementos básicos de la modelización que efectúa la física de las interacciones entre cuerpos.

## II. REFERENCIALES TEÓRICOS

Tanto en los procesos de enseñanza–aprendizaje de la Mecánica como en las actividades que desarrollan profesionalmente físicos e ingenieros se utilizan los DCL como representaciones gráficas de las fuerzas que los distintos cuerpos del medio ambiente ejercen sobre un cuerpo determinado. En estos diagramas cada fuerza que actúa sobre el objeto se representa mediante un vector con origen en el mismo, cuya dirección y sentido indican la interacción existente con otro objeto del medio ambiente. La interpretación de estos diagramas permite obtener conclusiones con respecto al tipo de movimiento que realiza el objeto mediante aplicación de la Segunda ley de Newton y, si además son conocidas la posición y la velocidad en algún instante determinado, también es posible obtener la ecuación de movimiento. Asimismo, a partir de la elaboración del correspondiente DCL y el correspondiente planteo de las ecuaciones pertinentes, es posible calcular o estimar, según sea el requerimiento, el módulo de las fuerzas intervinientes que mantienen o modifican el movimiento de sistemas físicos sobre los que actúan.

### A. Las fuerzas como resultado de interacciones en física y su enseñanza

Si bien el concepto de fuerza es uno de los conceptos básicos alrededor del cual se desarrolla la mecánica clásica y el elemento central de las tres leyes de Newton de la dinámica, su carácter abstracto hace que, para muchos estudiantes, su aprendizaje no sea trivial. Con el objetivo de facilitar su comprensión, desde el punto de vista clásico, una fuerza puede pensarse como un “empujón” o un “tirón” (¿idea ingenua?) actuando sobre un cuerpo como resultado de una interacción con otro cuerpo (Savinainen y otros, 2013; Stavrum, 2016).

La pregunta que surge entonces es: ¿Existe una idea más profunda detrás del concepto primario de fuerza y que la incluya?

Dentro del campo de la física, existen elaboraciones que resultan de interpretaciones alternativas a la de la mecánica newtoniana (por ejemplo, lagrangianos, hamiltonianos) que prescinden de la idea de fuerza y sugieren algo más fundamental. Una cuestión de suma importancia en este nivel más profundo de la física es la idea de *interacción*: dos cuerpos interactúan 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.

Dos partículas pueden interactuar entre sí e intercambiar cantidades físicas fundamentales como la cantidad de movimiento y la energía. Esta idea puede extenderse para incluir la mecánica cuántica, donde los cuantos de los campos interactúan e intercambian 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.

Por ahora dejaremos de lado el mundo cuántico y examinaremos un modelo clásico de una interacción. En esta idealizada visión del mundo que responde a los modelos que elabora la física, podemos imaginar dos partículas colisionando. Supongamos que estamos interesados en comparar lo que sabemos acerca de las partículas antes y después de la interacción. Debido a la interacción que ocurre en la colisión, la velocidad de cada partícula cambia. Si observáramos una de las partículas diríamos que se comportó como si fuera *empujada* o *tirada* de alguna manera. Si bien observamos que los resultados de la interacción corresponden a nuestra noción intuitiva y cotidiana de fuerza, debemos ser cautelosos. Cuando usamos la palabra fuerza, realmente queremos decir: *ese aspecto de una interacción que hace que la*

velocidad de una partícula cambie. La interacción también hizo que la energía y el impulso fueran transferidos. Si buscamos la fuerza, ésta se “disuelve” a medida que profundizamos en los mecanismos, pero las transferencias de energía y de impulso siguen ahí. El término "fuerza" es sólo una abreviatura para una parte de la interacción. Si observamos detalladamente el proceso podríamos notar que la otra partícula involucrada en la interacción también 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.

Lo dicho anteriormente conduce al diseño de una poderosa estrategia pedagógica: *desde el principio, enseñar a los estudiantes a pensar primero en las interacciones entre los objetos, enfatizando la característica de una interacción como una vía de doble sentido*. Entonces podremos enseñarles a cambiar el punto de vista desde un objeto a otro, de modo de examinar la característica de la interacción que nos interesa, es decir *las fuerzas*. Este modo de conceptualización de las fuerzas marca un profundo cambio conceptual y pedagógico 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 las mentes de los estudiantes. Debe además considerarse que los conceptos de fuerza y energía se conectan más firmemente cuando los estudiantes reconocen que ambos implican el seguimiento de cantidades de interés durante los procesos de interacción. De este modo se trabaja respetando uno de los principios de la investigación en enseñanza de la física, que busca indagar el posible universo de significados que los estudiantes asignan a estos conceptos para así poner en evidencia las concepciones erróneas que permitan resolver algunas dificultades de comprensión detectadas y reconocidas.

De lo expuesto, 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; Brown, 1989). 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.

Es importante destacar que muchos alumnos tienen dificultades en identificar los elementos del medio ambiente que actúan sobre el sistema que se estudia. Tal reconocimiento es esencial para la conceptualización de las fuerzas como interacciones, por ello es importante trabajar con los estudiantes con herramientas de representación visual de las interacciones entre objetos, siendo los DI una de ellas.

## **B. Los DI y su relación con los DCL**

Como dijimos, 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. 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 el ciclo 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 (Rosolio y otros, 2015, Steinberg y otros, 1990; Zhou y otros, 2015). Incluso algunos libros de texto refuerzan esta idea cuando describen algunas situaciones (Hellingman, 1992).

Los DI se utilizan como herramienta didáctica con el fin 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. En los DI se incluyen tanto el objeto de estudio (sistema) como los cuerpos que interactúan con él (medio ambiente). Las diferentes interacciones se describen con un par de textos breves en cada una de ellas, de modo de hacerlas explícitas y de esta manera ayudar a los estudiantes a verificar la correspondencia entre el DI y la tercera ley de Newton. La individualización del sistema y el medio ambiente, conduce a la elaboración adecuada del DCL: el número de líneas o flechas de interacción debe corresponder con el número de fuerzas en el DCL. Esta característica de los DI brinda una manera fácil de comprender que cada fuerza es resultado de una interacción. Por lo tanto, es razonable asumir que la probabilidad de incluir fuerzas adicionales en un DCL (a menudo los estudiantes inclu-

yen fuerzas que surgen de asociaciones inadecuadas con la dirección y sentido del movimiento o la velocidad) disminuye. De la misma manera, el DI tiene el potencial de salvaguardar la/s fuerza/s ausente/s en el DCL, siempre que se identifiquen todas las interacciones relevantes, asumiendo entonces el rol de verificador de la validez del DCL correspondiente.

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. Los DCL sólo muestran fuerzas que actúan sobre el sistema, y solamente será posible deducir el estado de movimiento planteando y resolviendo las ecuaciones correspondientes a fin de comprobar si la resultante de fuerzas es cero o no.

### III. METODOLOGÍA DE TRABAJO EN EL AULA

Para alcanzar la adecuada comprensión funcional (conceptual y procedimental) de los estudiantes acerca del concepto de fuerza, elemento central de las tres leyes de Newton de la Dinámica, se diagramaron situaciones problemáticas con base en dificultades de comprensión reconocidas y detectadas en estudios previos de los autores (Rosolio y otros, 2014; 2015).

Estas situaciones problemáticas serán resueltas por los estudiantes, luego de una etapa de instrucción en la cual se abordan sistemáticamente los temas: fuerzas como resultado de interacciones y su relación con la tercera ley de Newton; diagramas de interacción; diagramas de cuerpo libre y primera y segunda ley de Newton. Cabe señalar que este no es el orden que suele emplearse en los libros de texto de física, que por lo general presentan la primera y segunda ley de Newton en primer lugar.

La selección, organización y jerarquización de los contenidos en la etapa de instrucción responde a la consideración de que el conocimiento conceptual en cursos de física se presenta a menudo en una forma simbólica abstracta. Los símbolos tienen significados precisos y se combinan con reglas que deben usarse adecuadamente. Si nuestro objetivo es que los estudiantes comprendan y sean capaces de utilizar las representaciones simbólicas que forman parte de la práctica de la ciencia, por ejemplo, las descripciones matemáticas de los procesos, debemos vincular estas formas abstractas de describir el mundo a descripciones más concretas, por ejemplo representaciones visuales (DI, DCL) que enfatizan características cualitativas pero no información detallada y precisa. En la construcción de los vínculos entre diferentes representaciones, en general se da prioridad a lo que debería venir en primer lugar, es decir las ideas y los conceptos básicos de la física. Cuando se aprende física principalmente por medio de descripciones que ayudan a visualizar las ideas y los conceptos, se adquiere una mejor comprensión de sus fundamentos conceptuales (Rosengrant, 2007).

Asumiendo que el aprendizaje de los conocimientos científicos está fuertemente influido por los significados construidos por el estudiante a partir de experiencias previas, estructuradas en un sistema coherente de conceptos relacionados, nuestra propuesta de trabajo requiere modalidad interactiva, donde docente y alumno participan en el desarrollo de los contenidos. Esto requiere un trabajo activo de los estudiantes, quienes deben aportar a cada sesión de trabajo realizado la lectura crítica del material de estudio, problemas resueltos en entregas programadas, cuestiones analizadas, etcétera.

La metodología que se propone, será desarrollada en el curso de Física I en el Ciclo Básico de carreras de Ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, en 4 clases, de 4 horas cada una. La primera hora y media de cada clase será destinada al desarrollo de los contenidos seleccionados según el orden expuesto, donde el estudiante participará en forma activa al haber realizado una lectura previa del material de estudio, coordinado por el docente con el objetivo que establezcan nexos y relaciones que los lleven a niveles cada vez más avanzados de comprensión. Luego se presentará una situación problemática como actividad inicial con el objetivo de centrar la atención del estudiante en el tema que se desarrollará. Su selección se realizará con el fin de estimular al estudiante para que aporte espontáneamente lo que ya sabe, lo que le interesa, o utilice las habilidades que requerirá la elaboración del marco teórico. Su resolución será realizada en conjunto con toda la clase. En cuanto a las siguientes situaciones, será imprescindible preparar una guía de trabajo para ordenarlas y se resolverán en grupos conformados por 4 estudiantes, utilizando las horas restantes finales de cada clase. Se seleccionaran algunas de ellas para su resolución extra-áulica cuya entrega programada se realizará en la siguiente clase y será expuesta para su discusión a toda la clase.

En la selección de situaciones problemáticas también consideraremos aquellas que presenten dificultades para focalizar y modelizar con cierta profundidad; y para expresar y comunicar sus ideas (marcos referenciales) y procedimientos (operatividad) relacionados con el quehacer científico (control de variables, búsqueda de regularidades, manejo de recursos y técnicas, etc.) con cierta precisión y con diferentes niveles de simbolización y abstracción. A continuación presentamos algunas situaciones problemáticas que se han diseñado para su resolución.

## A. Situaciones problemáticas diagramadas

### A. 1. Ejemplo 1

Tres bloques de igual masa y tres cuerdas inextensibles, y de masa despreciable, se vinculan entre sí en las tres situaciones que se muestran en la Figura 1. En la primera imagen (a) los tres bloques se mantienen en equilibrio colgados del techo mediante el uso de las cuerdas; en la segunda (b) los bloques están sobre una mesa horizontal y sobre el primero de ellos se aplica una fuerza de tracción  $\vec{F}$  con la intención de mover el sistema con velocidad constante; y en la tercera (c) los bloques se hallan sobre una superficie inclinada lisa y sobre el primero de ellos se realiza una fuerza de tracción  $\vec{F}$  con la intención de mover el sistema hacia arriba con velocidad constante.

Ante la necesidad de extraer resultados y conclusiones en base a lo estudiado, con la justificación física correspondiente, considere las siguientes consignas de trabajo:

1. Identifique las fuerzas que actúan sobre los bloques en cada una de las situaciones.
2. Las fuerzas que actúan sobre cada uno de ellos en las tres situaciones, ¿son iguales en módulo? ¿Cuál es la expresión matemática de cada una de estas fuerzas en función de las magnitudes que considera relevantes al estudio (por ejemplo: masa  $m$ , fuerza de tracción  $\vec{F}$ , etc.)?
3. Identifique las fuerzas que actúan en cada cuerda. Describir cuáles son los efectos de ellas sobre cada cuerda.
4. ¿Cuál es el módulo de las fuerzas que soportan las cuerdas? Dar la expresión en función de las magnitudes que considera relevantes para el estudio
5. ¿Son iguales en módulo las fuerzas que actúan sobre el bloque 2?
6. Identificar cuál es la fuerza que provoca el movimiento de los bloques 2 y 3, en la segunda y tercera disposición.
7. Comparar entre sí los módulos de las fuerzas que tensionan las cuerdas ubicadas entre cada par de bloques en las tres situaciones.
8. Explicar en forma clara las diferencias que encuentra entre la segunda y tercera configuración.
9. Si en la primera configuración se procede a cortar la cuerda que sostiene al sistema unido al techo, ¿cuál será el módulo de las fuerzas que actúan sobre las cuerdas?

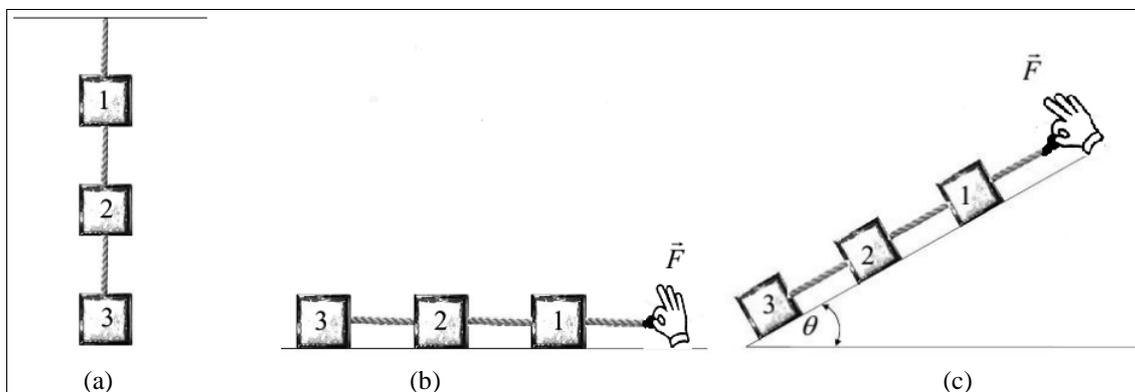


FIGURA 1. Ejemplo (1).

### A. 2. Ejemplo 2

Los bloques 1, 2 y 3, conforman el sistema bajo estudio y se acomodan en tres disposiciones diferentes A, B y C, como muestra la Figura 2. En cada una de ellas, se hace actuar una fuerza horizontal  $\vec{F}$  tal como se muestra.

Si la aceleración del sistema en cada caso es de  $2 \text{ m/s}^2$  y considerando que la correspondiente fuerza  $\vec{F}$  aplicada desplaza los bloques como si estuvieran unidos:

- a- Determinar el módulo de la fuerza  $\vec{F}$  en cada disposición.
- b- ¿La fuerza de contacto que ejerce el bloque 1 sobre el 2 en la disposición A es menor que la que efectúa en la disposición B?
- c- ¿La fuerza de contacto que ejerce el bloque 1 sobre el 2 en la disposición B es menor que la que efectúa en la disposición C?

Las masas respectivas de los bloques son: 2 kg, 4 kg y 1 kg, y sus coeficientes de roce, con el plano horizontal, respectivos son  $1/4$ ,  $1/8$  y  $1/2$ . Considere el módulo de  $g=10 \text{ m/s}^2$ .

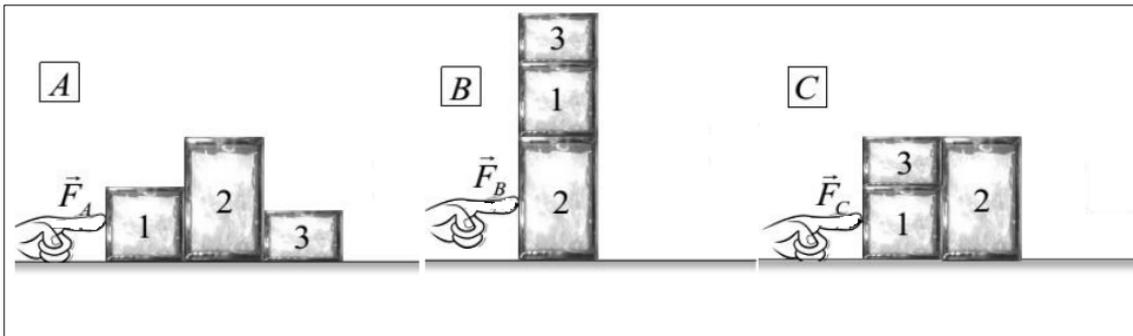


FIGURA 2. Ejemplo 2.

### A. 3. Ejemplo 3

Dos cuerpos 1 y 2 de igual masa  $m$ , colgados del techo por cuerdas inextensibles y de masa despreciable, están en equilibrio. De ellos podrás decir que:

- Sobre el cuerpo 1 y el cuerpo 2 actúan sólo “fuerzas a distancia”.
- Sobre el cuerpo 1 actúan tres fuerzas y dos sobre el cuerpo 2.
- Las fuerzas que actúan sobre el cuerpo 2 son iguales en módulo.
- La tensión en la cuerda que une el cuerpo 1 al techo es igual en módulo al peso del cuerpo 1.
- La tensión en la cuerda que une el cuerpo 1 al techo es igual en módulo a la tensión en la cuerda que une el cuerpo 2 con el cuerpo 1.

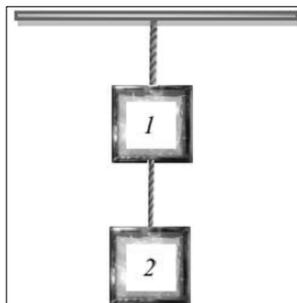


FIGURA 3. Ejemplo 3.

Al diseñar estas situaciones problemáticas, hemos considerado diferentes cuestiones importantes para una mejora en nuestra tarea docente, como por ejemplo:

La introducción de sistemas a estudiar que contienen más de un objeto (varios bloques, cuerpos, cuerdas, etc.) conduce a una mayor comprensión del concepto de fuerza como interacción. La elección del sistema de estudio es un buen ejemplo de un elemento clave en el camino a la experticia en la resolución de problemas, que en general no se enseña explícitamente. Sin embargo, muchas veces se supone que los estudiantes adquirirán dicha habilidad rápidamente a través de su propia práctica, hecho que rara vez ocurre. La elección del conjunto adecuado de objetos a agrupar para ser considerado como “el sistema bajo estudio” y el análisis de las consecuencias de tal elección, se convierten en herramientas sutiles y poderosas en la resolución de problemas de física.

Ilustrar y enfatizar la importancia de considerar el DI como paso previo al DCL. Si consideramos el ejemplo 2, figura 2, disposición A, observamos que al empujar con la mano (al aplicar la fuerza  $F_A$ ) sobre el conjunto de bloques 1,2 y 3 (considerado como sistema bajo estudio) se obtiene como efecto una aceleración de  $2m/s^2$ . Si preguntamos a nuestros estudiantes qué fuerzas se aplican sobre el bloque 2, o sobre el 3, ¿Cuál sería su respuesta? Seguramente, algunos de ellos incluirían en su respuesta al empujón de la mano ( $F_A$ ). En esta situación, es claro que la consideración de un DI es crucial para identificar que la mano sólo interactúa con el bloque 1. Además, los estudiantes pueden observar que existen 4 interacciones en las que participa el bloque 2 (con el bloque 1, con el bloque 3, con la Tierra y con la superficie horizontal) y ninguna de ellas involucra la mano. Los beneficios de considerar la utilización del DI no terminan aquí: supongamos que preguntamos a los estudiantes acerca de las fuerzas aplicadas sobre el bloque 1. Dado que la tercera ley de Newton está incorporada en la elaboración de los DI, los estudiantes naturalmente consideran que el bloque 2 también está empujando al bloque 1. Un cambio rápido del sis-

tema (doble vía de la interacción) destaca las cuatro interacciones sobre el bloque 1, conduciendo a una construcción adecuada del DCL. Aún más, en este ejemplo la aceleración de este conjunto de bloques es una magnitud relevante, y es aquí donde la idea de la elección del sistema bajo estudio (explicitada en el ítem anterior) muestra su mayor poderío. Consideremos, por ahora, los tres bloques con igual coeficiente de roce con la superficie horizontal. Si la elección se realiza de forma tal que incluya los tres bloques, las fuerzas que se aplican al sistema serán sólo la fuerza gravitacional (interacción Tierra–sistema), la fuerza Normal, la fuerza de roce (ambas resultada de la interacción superficie de apoyo horizontal–sistema) y la restante fuerza de contacto (mano–sistema). La interacción entre los bloques 1 y 2 es una fuerza interna y no aparece en nuestro DCL. Los estudiantes aprenden de este modo que la elección de cuál será el sistema bajo estudio tiene efectos dramáticos en el DCL que resulta.

La conmutación entre diferentes sistemas para la misma situación a resolver es una potente herramienta de resolución de problemas, especialmente si todos los objetos presentes están obligados a moverse juntos con igual aceleración. En este caso el sistema es un objeto compuesto, una etiqueta útil en el proceso de resolución. Esta consideración permite a un estudiante aprender a elegir hábilmente un sistema de estudio para un propósito determinado (por ejemplo para encontrar la aceleración) y luego cambiar a otro para conseguir otro objetivo (por ejemplo usando la aceleración hallada anteriormente para calcular una fuerza en particular). La metodología aquí expuesta parece compleja, y en efecto lo es, pero creemos que para adaptarse mejor a tales situaciones problemáticas, es necesario generar con nuestros alumnos procesos de búsqueda de conocimientos desde un saber hacer lógico y no repetitivo.

#### IV. CONCLUSIONES

Las interacciones con los estudiantes en el aula, en particular frente a nuevas metodologías de trabajo, proporcionan evidencia de la medida en que toman la iniciativa de resolver inconsistencias en su propio pensamiento y hacer conexiones entre la física y el formalismo cada vez más sofisticado al que son introducidos. Así, tanto las observaciones formales como las informales de los estudiantes en investigaciones sobre educación en física, continúan proporcionando una valiosa visión del pensamiento estudiantil. Las investigaciones en curso pueden promover una comprensión más profunda de las dificultades de comprensión de los estudiantes más allá del nivel introductorio, y guiar el diseño y refinamiento adicional de las estrategias que las abordan.

Los objetivos particulares de la metodología propuesta son promover la discusión, ampliar el posible universo de significados que los estudiantes asignan al concepto de Fuerza y poner en evidencia concepciones erróneas que permitan resolver algunas dificultades de comprensión detectadas y reconocidas. Analizar su efectividad constituirá un objetivo futuro a cumplimentar.

#### V. REFERENCIAS

- Brown, D. (1989). Students' concept of force: The importance of understanding Newton's third law. *Physics Education*, 24, 353–357.
- Heckler, A. (2010). Some Consequences of Prompting Novice Physics Students to Construct Force Diagrams. *International Journal of Science Education*, 32(14), 1829–1851.
- Hellingman, C. (1992). Newton's third law revisited. *Physics Education*, 27, 112–116.
- 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. 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.
- 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.
- Newburgh, R. (1994). Force diagrams: How? and why?. *The Physics Teacher*, 32, 352.

Rosengrant, D. (2007). Multiple Representations and Free Body Diagrams: Do Student Benefit from Using Them? *Dissertation for the degree of Doctor of Education, Graduate Program in Science Education, The Graduate School of Education Rutgers, The State University of New Jersey*, <https://www.researchgate.net/publication/237105058> Sitio consultado en Julio 2017.

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(1), 010108(1–13).

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, 195–205.

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, IV EIEF 2015. *Publicación de la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Editorial Asociación de Profesores de la FCEIA, UNR*.

Savinainen, A. y Scott, P. (2002). Using the Force Concept Inventory to monitor student learning and to plan teaching. *Physics Education*, 37, 53–58.

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.

Stavrum, L., Bungum, B y Persson, J. (2016). "Never at rest": developing a conceptual framework for definitions of 'force in physics textbooks, <https://arxiv.org/ftp/arxiv/papers/1506/1506.06562.pdf> Sitio consultado en abril de 2016.

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.