

Identificación de fuerzas en situaciones de equilibrio: un estudio con alumnos ingresantes a la universidad

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Alejandra Rosolio¹, Elena Llonch, Patricia Sánchez¹

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

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

Resumen

La concepción y el reconocimiento de las fuerzas que actúan sobre un cuerpo son fundamentales en la resolución de los problemas de Dinámica, pero sólo algunos estudiantes alcanzan el desempeño deseado, evidenciándose una brecha entre los objetivos del aprendizaje y los conocimientos en acto implicados en la identificación de las fuerzas. Con el fin de investigar cuál es la concepción de fuerza con la que los estudiantes ingresan a la universidad, en este trabajo se analizan las actuaciones de 116 estudiantes ingresantes a carreras de ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería de la Universidad Nacional de Rosario, en las cuales debían identificar las fuerzas actuantes sobre distintos sistemas físicos en equilibrio. Los protocolos se analizaron adoptando un enfoque cuali-cuantitativo y los datos recabados fueron procesados aplicando técnicas estadísticas de variables múltiples. Los protocolos se interpretan en relación a las representaciones internas que los sustentan; las mismas ponen de manifiesto las ideas y recursos cognitivos de los estudiantes al enfrentarse a una situación problemática.

Palabras clave: Fuerzas, Interacciones, Medio ambiente, Representaciones.

Abstract

The concept of force and the recognition of the forces acting on a body are essential in the process of problem solving in Dynamics, but only few students achieve the desired performance, existing a gap between the goals of learning and knowledge in action, especially when students must identify forces. To investigate what students understand by the concept of force when they enter the university, the performances of 116 incoming students to careers of engineering of the Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería of the Universidad Nacional de Rosario were analyzed in this work. The task consisted in the identification of the forces acting on different physical systems in equilibrium together with the recognition of the bodies that exerted them on each system. A quantitative-qualitative approach was adopted in the analysis of the protocols and the data collected were processed using multivariate statistical techniques. Protocols are interpreted in relation to the internal representations that support them, as they show the students' ideas and cognitive resources when dealing with a problem situation.

Keywords: Forces, Interactions, Environment, Representations.

I. INTRODUCCIÓN

El concepto de fuerza es una de las nociones básicas en el desarrollo de la Mecánica Clásica, siendo además el elemento central de las leyes de Newton de la Dinámica. Los diagramas de cuerpo libre (DCL) constituyen una herramienta de gran utilidad como instrumento de representación de las fuerzas que actúan sobre un sistema físico, tanto en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Física en general como en las actividades que desarrollan físicos e ingenieros. En estos diagramas cada fuerza que actúa sobre el cuerpo en estudio se representa mediante un vector con origen en el mismo, cuyo módulo, dirección y sentido dan cuenta de la interacción existente con el objeto correspondiente 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 del planteo del correspondiente DCL, es posible calcular el valor de fuerzas desconocidas que modifican el movimiento de sistemas físicos.

Si bien la concepción y el reconocimiento de las fuerzas son fundamentales en la resolución de los problemas de Dinámica, sólo algunos estudiantes alcanzan el desempeño deseado, evidenciándose una brecha entre los objetivos del aprendizaje y los conocimientos en acto implicados en la identificación de las fuerzas. Con el fin de investigar cuál es la concepción de fuerza con la que los estudiantes ingresan a la Universidad, en este trabajo se analizan las actuaciones de 116 estudiantes ingresantes a carreras de ingeniería de la Facultad de Ciencias Exactas e Ingeniería (FCEIA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR), al identificar las fuerzas actuantes sobre distintos sistemas físicos en equilibrio. Los protocolos se analizaron adoptando un enfoque cuali-cuantitativo y los datos recabados fueron procesados aplicando técnicas estadísticas de variables múltiples. La información se interpreta en relación a las representaciones internas de los estudiantes; a través de las mismas se ponen de manifiesto sus ideas y los recursos cognitivos puestos en juego al enfrentarse a una situación problemática.

Este 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" de la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Rosario, correspondiendo a las etapas iniciales del mismo, que contemplan el análisis de las concepciones de los estudiantes acerca del concepto de fuerza antes de comenzar su estudio formal en esta Facultad.

II. REFERENCIALES TEÓRICOS

En el campo de la investigación en enseñanza de las ciencias, existen numerosos trabajos centrados en el análisis de las dificultades de los estudiantes en el reconocimiento de fuerzas y en la elaboración de los DCL (Llonch et al., 2011; Llonch et al., 2012; Newburgh, 1994; Rosengrant et al., 2009; Savinainen et al., 2013; Savinainen y Scott, 2002; Scherr y Redish, 2005; Wendel, 2011).

Para un adecuado reconocimiento de fuerzas, resulta fundamental enfatizar la concepción de las mismas como interacciones (Brown, 1989; Hellingman, 1992; Jiménez y Perales, 2001). Precisamente, la tercera ley de Newton da cuenta de tal concepción, y su comprensión facilita la adecuada identificación de las fuerzas actuantes sobre un cuerpo determinado, puesto que enfatiza la individualización del agente del medio ambiente que ejerce cada una de ellas. Sin embargo, a pesar de la fuerte conveniencia de la utilización de esta ley, en general no se la aplica sistemáticamente en los cursos, limitándose a una presentación breve de la misma y asignándole menor importancia que a la primera y segunda leyes de Newton.

Desde el punto de vista cognitivo, se asume que las fuerzas que un estudiante identifica -en una determinada situación- brindan información acerca de la representación interna construida de dicha situación en estudio. En esta investigación se considera a los modelos mentales (MM) presentados en la teoría de Johnson-Laird (1983) como formato de las representaciones internas de la información. Desde esta perspectiva, la comprensión de un fenómeno físico implica la construcción de modelos mentales que sean análogos estructurales de tal fenómeno. Cuando una persona resuelve un problema, se considera que las representaciones externas que realiza (gráficos, palabras, símbolos, diagramas, etc.) permiten caracterizar sus MM (García Madruga, 2006; Sánchez, 2011). En particular, la construcción del MM inicial resulta de la interacción entre la situación descrita en el enunciado y los conocimientos, científicos y cotidianos, activados de la memoria a largo plazo de quien resuelve.

En la caracterización de los MM desarrollados por los estudiantes cuando resuelven problemas de ciencias, es posible identificar diversos sesgos cognitivos (Gutiérrez Martínez, 1995). Estos sesgos, o recortes en el razonamiento, debidos en general a enfoques parciales de la situación problemática, constituyen elementos que interfieren en los procesos de resolución. En particular, al analizar la resolución de un problema de Dinámica, la presencia de sesgos estaría relacionada con alguna falla en el reconocimiento de las fuerzas, de modo que es posible asociarlos a errores conceptuales (Sánchez, 2011; Llonch et al., 2011) o a tendencias simplificadoras en un curso de acción. Si bien se considera que un MM puede estar sesgado por diversas causas cognitivas, ese sesgo tiene que ver con recortes interpretados desde la Física. Los sesgos más habituales en el razonamiento de estudiantes son los llamados facilitador o de economía cognitiva y de fijación o creencia.

Gran parte de los estudiantes llega a un curso de Mecánica Básica universitaria con fuertes creencias acerca del mundo físico y en particular de las fuerzas, que fueron construyendo a través de la experiencia cotidiana y de la posible instrucción adquirida en la escuela. En este trabajo se analizan las concepciones de un grupo de ingresantes a carreras de Ingeniería de la FCEIA acerca del concepto de fuerza. La información se recabó a partir del análisis de los protocolos correspondientes a dos casos en los que debían identificar las fuerzas actuantes sobre una persona en situaciones cotidianas de equilibrio. Se

caracterizaron distintos tipos de respuestas que dan cuenta de la elaboración de MM contruidos a partir de diferentes concepciones de fuerzas.

III. METODOLOGÍA

Se decidió analizar la identificación de fuerzas ejercidas sobre personas a partir de un interrogante surgido en una investigación anterior (Sánchez et al., 2008) en la cual, frente a dos situaciones semejantes, una con objetos inanimados y otra que involucraba personas, resultó que en el segundo caso la percepción facilitó la elaboración de un modelo de situación adecuado.

Se adoptó un enfoque cuali-cuantitativo, siguiendo lineamientos metodológicos que lo sugieren como apropiado cuando se desea recoger información factual detallada sobre determinada situación. El instrumento diseñado para su aplicación en este trabajo consiste en dos situaciones a resolver por parejas de estudiantes consistentes en un niño de pie y un hombre sentado en una silla, ambos en equilibrio, con una consigna textual acompañada por un dibujo ilustrativo, como se muestra en la Figura 1. Se solicitaba, en primer lugar que, antes de iniciar la actividad indicaran si habían desarrollado o no - uno o ambos integrantes- contenidos de Física en la escuela secundaria. Esta información fue considerada como una de las variables de análisis en cuanto a la caracterización de los alumnos. La consigna de trabajo buscaba orientar a los alumnos a la consideración de las fuerzas como interacciones, al solicitar que señalaran qué cuerpos del medio ambiente ejercían fuerzas sobre la persona en cuestión.

Este instrumento se aplicó a un grupo de 116 estudiantes que estaban asistiendo al Taller de Introducción a la Física, después de haber completado la Unidad 1: “Magnitudes, unidades y mediciones”, y antes de comenzar la Unidad 2, donde se presenta el concepto de fuerza. Se repartió aleatoriamente una de las dos situaciones diseñadas para que la respondan en grupos de 2 alumnos.

Los protocolos fueron estudiados mediante técnicas de análisis factorial que permiten descubrir posibles relaciones entre las variables de análisis (Lebart et al., 1985).

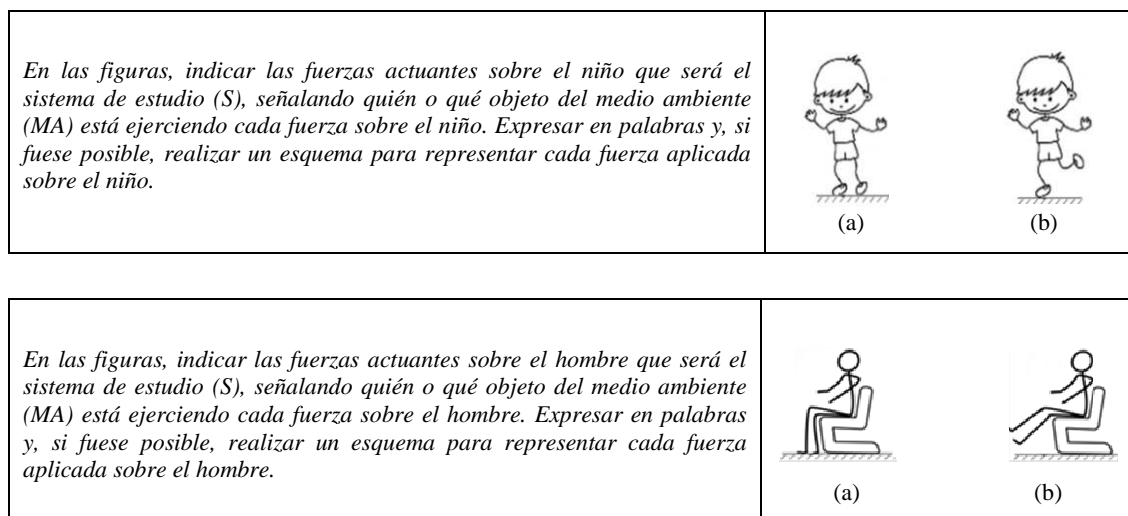


FIGURA 1. Situaciones correspondientes al instrumento aplicado.

A. Análisis de datos

Se obtuvieron 58 protocolos que se estudiaron a partir de las variables de análisis seleccionadas, cuyas modalidades –mutuamente excluyentes- surgieron de la lectura de las respuestas producidas por los estudiantes.

Las variables de análisis y las modalidades identificadas para cada una de ellas se detallan en la Tabla I.

TABLA I. Variables de análisis y sus correspondientes modalidades.

<i>Variable</i>	<i>Modalidades</i>
Caracterización del alumno ¹	-Física escuela secundaria: sí ambos -Física escuela secundaria: no ambos -Física escuela secundaria: uno de los dos
Medio Ambiente (elementos que ejercen fuerzas sobre el niño o el hombre)	-Reconoce a la Tierra y al piso y/o la silla -Reconoce sólo a la gravedad ² -Identifica sólo a las superficies de apoyo (piso – silla) -No reconoce ningún elemento -Identifica a la Tierra como único objeto del MA
Formato de la respuesta	-Sólo texto -Texto + esquema -Texto + DCL
Fuerza de gravedad y peso (forma en que indican la fuerza asociada a la interacción gravitatoria)	-Mencionan sólo a la fuerza de gravedad -Mencionan a la fuerza de gravedad y el peso como dos fuerzas diferentes -Sólo mencionan al peso -No hacen referencia ni a la fuerza de gravedad ni al peso
Equilibrio (modo en que tienen en cuenta el estado de equilibrio del niño o el hombre)	-Explicita que la persona está en equilibrio -No hace referencia al estado de equilibrio -Equilibrio implícito en un diagrama de fuerzas -Equilibrio imposible inferido del diagrama de fuerzas
Punto de aplicación del peso	-En la cabeza -En los pies / piso-asiento ³ -En el centro de gravedad -No corresponde -Afuera del cuerpo
Fuerzas que ejerce el sujeto	-Incluye sólo fuerzas que ejerce el individuo -Incluye fuerzas que ejerce el individuo + peso + normal -Incluye fuerzas que ejerce el individuo + peso -No incluye fuerzas que ejerce el individuo -Sólo el peso como fuerza que ejerce el individuo
Fuerza normal	-Normal en un punto de apoyo -Normal en dos superficies de apoyo -Normal ausente

Cada una de las investigadoras efectuó la lectura y el análisis de la totalidad de los protocolos. En los casos de desacuerdo, se procedió a un análisis conjunto hasta arribar a un consenso. De este modo, cada individuo (protocolo producido por cada pareja de estudiantes) quedó caracterizado por un conjunto de modalidades que indican su modo de actuación según las respuestas consignadas.

Para el procesamiento de la información se utilizó el programa estadístico SPAD 4 (CISIA-CERESTA, 1998), aplicándose una técnica de clasificación mixta a partir del Análisis de Correspondencias Múltiples (Moscoloni, 2005). Mediante esta clasificación los individuos se organizan en clases homogéneas mutuamente diferenciadas optimizando la homogeneidad intraclase (Lebart, et al., op. cit.). La caracterización de los grupos o clases en que se tipifica la muestra se obtiene asociando las modalidades de las variables con mayor valor test (parámetro estadístico del análisis).

¹Dado que en todos los grupos, al menos uno de los dos integrantes había desarrollado contenidos de Física en la escuela secundaria, no se incluyó esta variable en el tratamiento de datos.

²Esta modalidad corresponde a los casos en que se considera a la gravedad como un elemento del MA que actúa sobre la persona.

³Da cuenta del comentario realizado por algunos estudiantes respecto a que el peso se reparte entre las dos superficies de apoyo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La gráfica correspondiente al análisis estadístico se presenta en la Figura 2, en cuyo recuadro inferior indica el número de individuos pertenecientes a cada clase, correspondiendo el 50%, 26%, y 24% a las clases 1, 2 y 3, respectivamente. Los integrantes de cada grupo se identifican con el número correspondiente a la clase. El símbolo (♦) representa el centro de gravedad de la clase y los trazos que parten del mismo indican a los sujetos o parangones que se aproximan a dicho valor medio y que pueden ser considerados como los más representativos de cada clase.

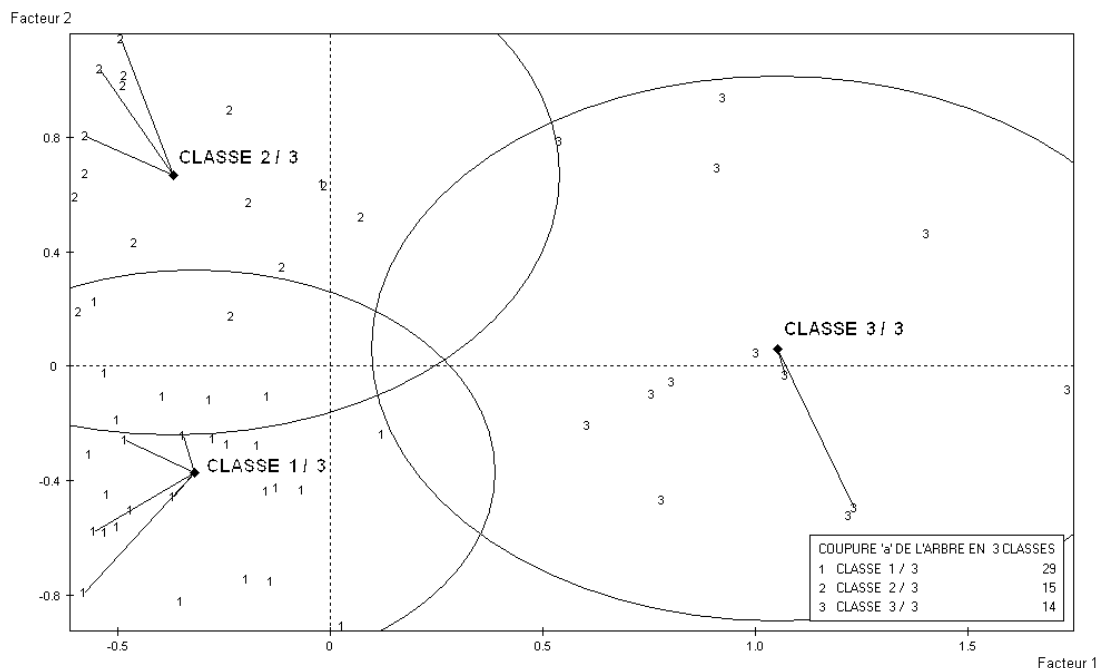


FIGURA 2. Clasificación de los individuos de la muestra en el espacio factorial.

A continuación se describen las características de cada clase basadas en las modalidades de las variables de análisis asumidas por cada una de ellas.

Clase 1: Corresponde al 50% de la muestra, y agrupa a estudiantes situados en la parte inferior izquierda del plano factorial (Figura 2). Estos estudiantes se caracterizan por dar respuestas sólo textuales (valor test = 4,56), acompañadas en algunos casos por un esquema elemental de flechas sueltas sobre los dibujos del enunciado. No identifican los objetos del MA que interactúan con el niño o el hombre (valor test = 3,23) y en sus explicaciones no hacen mención al estado de equilibrio del hombre o el niño (valor test = 4,70), considerando en general al peso como una propiedad del cuerpo (valor test = 4,26).

En la Figura 3 se muestra una resolución identificada como parangón de esta clase. Se observa que la respuesta es sólo textual y que la misma no responde a una parte de la consigna al no identificar los elementos del MA que ejercen fuerzas sobre el niño. Reconocen la existencia de la fuerza de la gravedad, pero consideran al peso como si se tratara de la masa del niño, al expresar “*el peso del niño está apoyado en sus dos piernas*” (caso a) o “*... en una sola pierna*” (caso b). Estos estudiantes intentan interpretar la situación y responder a las consignas desde la perspectiva de una teoría marco que contiene información contradictoria desde el punto de vista científico. Dan cuenta de modelos mentales incoherentes o fragmentados, en el sentido de Chi y Roscoe (2003), en los cuales conciben a la fuerza de gravedad y el peso como conceptos no relacionados, considerando a este último como una propiedad del cuerpo.



FIGURA 3. Resolución identificada como B9 de la Clase 1, individuo representativo de la misma.

Clase 2: Corresponde al 26% de la muestra, y agrupa a estudiantes caracterizados por realizar diagramas de fuerzas en los cuales todas ellas tienen el mismo sentido, de modo que es imposible justificar el equilibrio (valor $test= 5,70$), con el peso o la fuerza de gravedad representado por una flecha aplicada fuera del hombre o niño (valor $test= 4,46$), sin considerar la existencia de una fuerza normal que los sostiene (valor $test= 2,89$).

Los estudiantes de esta clase responden a partir de modelos mentales construidos desde el conocimiento cotidiano, en los cuales están ausentes las fuerzas ejercidas por las superficies de apoyo, y la fuerza de gravedad es identificada como una propiedad del ambiente que actúa sobre la persona.

En la Figura 4 se muestra una resolución identificada como parangón de esta clase. Puede observarse la respuesta textual y algunas flechas, todas dirigidas hacia abajo, que impiden justificar un estado de equilibrio como el presentado en el enunciado. Responden a la consigna desde una teoría ingenua, identificando la fuerza de gravedad y la “que ejerce la persona sobre los pies”. En el caso (a) estas dos fuerzas se suman y en el caso (b) suman la fuerza de gravedad y la fuerza “de levantar las piernas”. De este modo, no se identifican los elementos del MA que ejercen fuerzas sobre la persona, pues para ellos una de las fuerzas actuantes es la ejercida por la propia persona y la fuerza de gravedad es atribuida al “ambiente” en general.



FIGURA 4. Resolución identificada como B23 de la Clase 2, individuo representativo de la misma.

Clase 3: Corresponde al 24% de la muestra, y agrupa a estudiantes caracterizados, fundamentalmente, por construir diagramas de fuerzas en los cuales está implícito el equilibrio (valor $test= 6,82$). Estos

alumnos responden a las consignas acompañando dicho diagrama con un texto explicativo (valor test= 3,56) en el cual identifican los cuerpos del medio ambiente que interactúan con el sistema (valor test= 3,33), indicando, en algunos casos, los pares de acción y reacción. Llamam peso a la interacción con la Tierra (valor test= 3,74) e identifican la fuerza normal en cada una de las superficies de apoyo (valor test= 3,11).

En la Figura 5 se muestra una resolución identificada como parangón de esta clase. Puede observarse que estos estudiantes grafican las fuerzas sobre los dibujos del enunciado y además incluyen un texto. Si bien reconocen como elementos del MA a la Tierra y el piso, ubicando allí los pares de acción y reacción, identifican además una fuerza que denominan “atmosférica” y otra “que ejerce el aire como resistencia”. Se observa que incluyen la presión atmosférica, que definen erróneamente como el producto de la fuerza por el área.

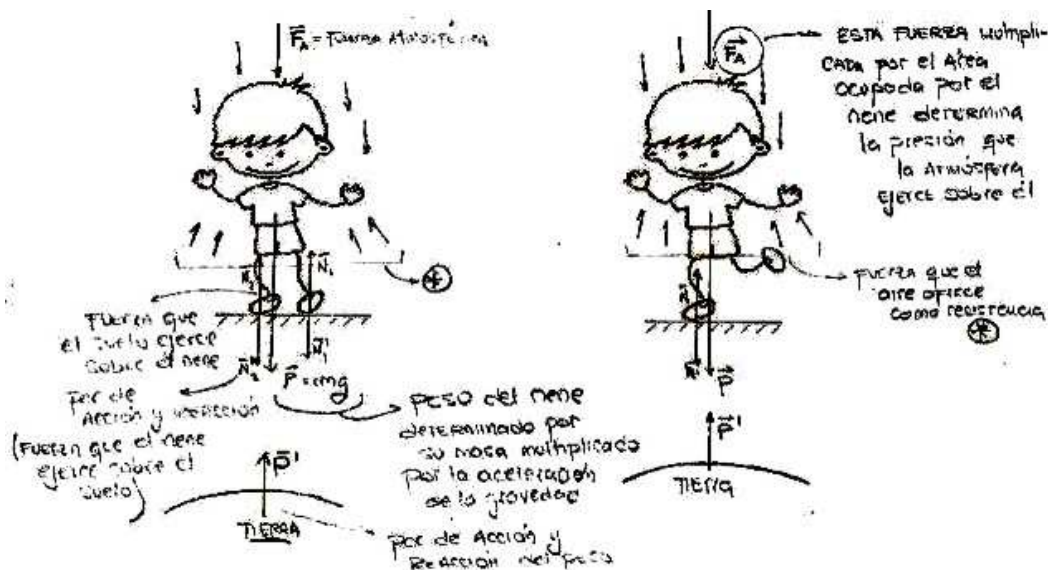


FIGURA 5. Resolución identificada como N5 de la Clase 3, individuo representativo de la misma.

Esta clasificación muestra que los estudiantes de la Clase 1 usan sólo el texto para referirse a las fuerzas, mientras que los de la Clase 2 hacen uso de dos tipos de representaciones: la palabra y una representación gráfica elemental con flechas, dando mayor entidad al concepto de fuerza, conformando MM más elaborados. De todos modos, los MM construidos por los estudiantes de ambas clases (76% de la muestra) pueden considerarse simples e incompletos, elaborados desde el conocimiento intuitivo con alguna influencia del contexto escolar, que pueden ser coherentes para el estudiante, pero son defectuosos desde el punto de vista de la Física.

Sólo el 24% de los participantes (Clase 3) responden a partir de modelos mentales que son más coherentes y completos. Sin embargo, a partir de los comentarios de algunos estudiantes de esta clase, puede inferirse la presencia de sesgos en sus modelos, al considerar al peso como una propiedad del cuerpo o incluir fuerzas ejercidas por el aire. Dan cuenta de un modelo mental más cercano al modelo físico, mencionando y ubicando correctamente los pares de acción y reacción, pero sesgados fundamentalmente por influencia del contexto escolar.

Dado que en el análisis multidimensional aplicado las clases se conforman a partir de una máxima diferenciación entre las modalidades asumidas, aquéllas que son comunes a muchos individuos no son determinantes en la caracterización de cada grupo. Es por ello que a continuación se presentan consideraciones acerca de aspectos compartidos por individuos de todas las clases que son relevantes en este trabajo.

Si bien el enunciado está estructurado para que los estudiantes se focalicen en las “fuerzas ejercidas sobre el hombre (o el niño)” por objetos del MA que debían reconocer, muchos alumnos, pertenecientes a las tres clases identificadas, incluyen fuerzas ejercidas por el niño o el hombre. Por lo tanto puede concluirse que muchos estudiantes responden desde un modelo generado por el conocimiento intuitivo, en el cual reconocen como fuerzas las que representan un esfuerzo físico, como levantar las piernas, mover los brazos para mantener el equilibrio o presionar el piso.

En el instrumento utilizado en esta investigación es tan fuerte el correlato perceptivo que la experiencia cotidiana tiene una influencia determinante en la identificación de las fuerzas. También es

fuerte, en muchos casos, la influencia del conocimiento escolar, puesto de manifiesto fundamentalmente por la presencia del concepto de presión atmosférica que en algunos casos los estudiantes asocian a una “fuerza atmosférica”. Efectivamente, algunos estudiantes de las tres clases incorporan a la presión atmosférica como una de las fuerzas actuantes sobre el niño o el hombre, agregando flechas alrededor del mismo, dirigidas hacia él. Esta característica fue reportada por Minstrell (citado en Mora y Herrera, 2009) en sus investigaciones sobre las ideas previas acerca del estado de reposo de los cuerpos.

Asociada a esta idea, en algunas de las resoluciones analizadas en este estudio, se menciona el aire o el viento como elemento relevante del MA: “... fuerza desconocida que impulsa al niño para adelante, que pudiese ser proveniente del viento, accionada por el mismo, o a causa de un objeto que impacta sobre él o un mismo empujón” (individuo B3). En este sentido, resulta ilustrativa la resolución identificada como B8 mostrada en la Figura 6, donde se explicita el reconocimiento de dos fuerzas: la presión atmosférica (graficada como flechas sueltas alrededor del niño) y una fuerza que denomina “Gravedad”, expresada como la aceleración de la gravedad y graficada como una flecha hacia abajo fuera del niño. En esta respuesta es evidente la influencia del contexto escolar previo por la inclusión del valor de la aceleración de la gravedad y de la presión atmosférica con sus unidades correspondientes.

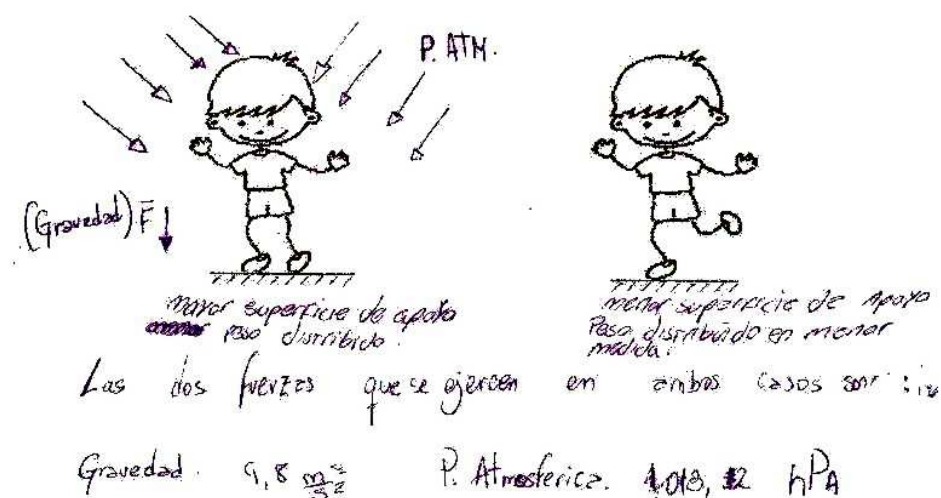


FIGURA 6. Resolución del par de estudiantes identificada como B8.

Muchos estudiantes explican lo que ven en un escenario que imaginan más allá del enunciado y que conforman a partir del dibujo, no del texto. En este sentido, se destaca que algunos estudiantes asocian un “guión” a la situación. Por ejemplo, en el caso del hombre sentado con los pies levantados algunos expresan:

“En esta figura suponemos que el hombre se desplaza a una velocidad y frena, por lo cual actúa la inercia” (individuo B27),

“... entre las fuerzas ejercidas sobre la persona está la inercia aparentemente provocada por una detención del movimiento” (individuo B19)

En el caso del niño parado sobre un pie, algunos comentarios de los estudiantes en este sentido:

“... si una de las fuerzas es mayor que la otra el chico perdería el equilibrio y se caería” (incluye fuerzas horizontales hacia afuera de cada mano) (individuo P14)

“... es una fuerza que se opone a él cuando corre” (individuo B3)

Puede inferirse que las actuaciones descritas en los extractos anteriores corresponden a estudiantes que realizan una lectura gráfica predominante y una lectura textual superficial.

Se destaca que algunos alumnos incorporan pseudo fuerzas tales como la “inercia”, la “fuerza de reposo” o la “fuerza cinética”. Es de esperar que los alumnos tiendan a usar el término fuerza para referirse a diferentes conceptos, ya que en la vida cotidiana dicho término se usa en una gran variedad de contextos, generalmente a través de asociaciones vagas y ambiguas (Halloun y Hestenes, 1985).

En cuanto a la fuerza peso, se han detectado, en estudiantes de las tres clases, diferentes concepciones: -identificada con la masa: "... la fuerza de la gravedad que afecta al niño es proporcional a su peso" (individuo P18); "... el peso propio del cuerpo recae sobre uno de sus pies" (individuo AJ3); "... el peso del niño se reparte sobre sus dos piernas, la mitad en cada una" (individuo P20). Esto concuerda con los resultados reportados por Jiménez Gómez, Martín Martínez y Solano Martínez (1999) acerca de las ideas de los alumnos sobre el concepto de fuerza en situaciones de equilibrio estático, consignando que en muchos casos las fuerzas son concebidas como propiedades de una sustancia que son transmitidas a todas las partes de la misma y actúan en la superficie de otros objetos.

-como fuerza ejercida por la persona: "el niño apoya todo su peso en una sola pierna, por lo tanto la pierna está ejerciendo la fuerza peso" (individuo B6).

Es interesante destacar que más del 30% de los estudiantes (todos los de la Clase 2 y algunos de la Clase 1) no reconocen al piso (o la silla y el piso) como elemento de sostén del niño o el hombre. Esto coincide con los resultados hallados por Halloun y Hestenes (1985), quienes observaron que muchos estudiantes creen que los objetos inanimados pueden servir como barreras para detener o redirigir el movimiento, pero no como agentes de una fuerza. Minstrell (citado en Mora y Herrera, 2009) investigando el concepto de "reposo" de un objeto sobre una mesa, encontró que muchos estudiantes manifestaron que la gravedad ejerce una fuerza vertical y que la mesa "sólo se encuentra en su camino", no siendo necesario que empuje hacia arriba.

V. REFLEXIONES FINALES

En la interacción cotidiana con el mundo de los fenómenos físicos cada individuo fue desarrollando modelos mentales que le resultaron funcionales y pasaron a formar parte de su conocimiento del mundo. Durante la instrucción en Física, ese individuo debe construir modelos que, en general, no sólo no coinciden con los construidos por su experiencia cotidiana, sino que a menudo son incompatibles. La lucha que se establece entre el conocimiento científico y el conocimiento cotidiano es, a veces, fuente de muchos errores, detectados especialmente en la resolución de problemas. En base a los resultados obtenidos en este estudio puede inferirse que la presencia de un sujeto como parte del sistema favorece la conformación de un modelo construido a partir de experiencias cotidianas. El efecto de la percepción en estas situaciones es tan fuerte, que aún los estudiantes que identifican y caracterizan las fuerzas actuantes -la fuerza gravitatoria y las normales indicando además los agentes que las ejercen- incluyen además algunas pseudo fuerzas. Es decir, los modelos mentales desde los cuales responden a las consignas están afectados fundamentalmente por la presencia del sesgo de creencia que interfiere con el conocimiento científico disponible. Esto se asocia al denominado efecto de accesibilidad, en referencia al peso diferencial que estos alumnos parecen atribuir a aspectos relacionados con la evidencia perceptiva (por ejemplo, "el peso repartido en los dos pies" o "el hombre está en reposo, por lo tanto sólo actúa la fuerza de gravedad").

Es importante destacar que la mayoría de los participantes no identifican los elementos del medio ambiente que actúan sobre el niño o el hombre. Tal reconocimiento es esencial para la conceptualización de las fuerzas como interacciones, por lo cual es importante trabajar con los estudiantes con herramientas de representación visual de las interacciones entre objetos (Hinrichs, 2005; Tiberghien et al., 2009; Turner, 2003). El objetivo de tales estrategias es la identificación y representación de las interacciones entre cuerpos prescindiendo, en una primera etapa, de la consideración del carácter vectorial de las fuerzas, enfatizando la aplicación de la tercera ley de Newton como paso previo a la construcción del diagrama de cuerpo libre.

REFERENCIAS

- Brown, D. (1989). Students' concept of force: The importance of understanding Newton's third law. *Physics Education*, 24, p. 353.
- Chi, M.T.H. y Roscoe, R.D. (2003). The process and challenges of conceptual change. En: M. Limón y L. Mason: *Reconsidering conceptual change: Issues in theory and practice*. London: Kluwer Academic Publishers.
- C.I.S.I.A – CERESTA (1998). *SPAD integrado versión 4*. París.
- García Madruga, J. A. (2006). *Lectura y conocimiento*. Barcelona: Paidós y UNED.

Gutiérrez Martínez, F. (1995). *Razonamiento: de la teoría a la instrucción*. Madrid: Universidad Nacional de Educación a Distancia.

Halloun, I.A. y Hestenes, D. (1985). Common sense concepts about motion. *American Journal of Science Education*, 7(3), pp. 231-236.

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

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

Jiménez Gómez, E, Martín Martínez, N. y 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. Consultado en <http://www.pedagogica.edu.co>, mayo de 2014.

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

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

Lebart, L., Morineau, A. y Fenelon, J. (1985). *Tratamiento estadístico de datos*. Barcelona: Marcombo.

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

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*. Esquel. Mora, C. y Herrera, D. (2009). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Latin American Journal of Physics Education*, 3 (1).

Moscoloni, N. (2005). *Las nubes de datos*. Rosario: UNR Editora.

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

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

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

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.

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

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

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

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

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