

Dificultades de estudiantes universitarios al describir un movimiento

University students' difficulties when describing a motion

Rosana Cassan¹, Patricia Sánchez¹ y Elena Llonch¹

¹Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Avenida Pellegrini 250, CP 2000, Rosario, Argentina.

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

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

Resumen

En este trabajo se caracterizan las descripciones de un movimiento roto-traslacional de un cuerpo rígido producido por un grupo de estudiantes universitarios de primer año. También se analizan el enfoque dinámico a través del reconocimiento de fuerzas y el planteo de las ecuaciones de movimiento. Se supone que las fallas en el proceso de resolución se deben a la presencia de sesgos cognitivos. Se observa que la mayoría de los estudiantes desarrollan descripciones elementales; incluso los alumnos con buen desempeño en el examen tienen dificultades para hacer una descripción cinemática de un cierto movimiento que después pueden resolver aplicando las leyes de la dinámica. Es decir, aunque parecen haber producido un modelo mental inicial sesgado incompleto, que les impidió completar la descripción en un texto, muestran un modelo mental acorde con un esquema conceptual coherente, operativo y funcional al realizar el análisis dinámico.

Palabras clave: Rototraslación de un cuerpo rígido; Descripción del movimiento; Reconocimiento de interacciones; Sesgos cognitivos.

Abstract

In this work the descriptions of a roto-translational motion of a rigid body produced by a group of first year university students are characterized. The dynamic approach through the recognition of forces and the posing of the equations of movement are also analyzed. It is assumed that failures in the solving process are due to the presence of cognitive biases. It is observed that most of the students develop elementary descriptions; even students with good performance in the exam have difficulties in making a kinematical description of a certain motion that they afterwards can solve applying the laws of Dynamics. That is to say, although they seem to have produced an incomplete biased initial mental model, which prevented them to complete the description in a text, they show a mental model consistent with a coherent, operative and functional conceptual scheme when making the dynamic analysis.

Keywords: Roto-translation of a rigid body; Description of motion; Interaction recognition; Cognitive biases.

I. INTRODUCCIÓN

Uno de los objetivos de la enseñanza de la física básica universitaria es desarrollar las habilidades comunicativas de los estudiantes, de modo que puedan comunicar ciencia describiendo hechos y fenómenos, y sean capaces de desarrollar razonamientos de tipo argumentativo utilizando modelos científicos y el lenguaje específico de la física. Esto es particularmente necesario en el estudio de la Cinemática, rama de la Mecánica que se ocupa de analizar y describir los distintos movimientos de los cuerpos, sin considerar las causas que los producen. Las ecuaciones del movimiento relatan la historia del movimiento del sistema físico en estudio, ya se trate de un cuerpo modelizado como partícula o como un sistema de partículas, y en particular un cuerpo rígido. Sin embargo, es frecuente advertir que muchos estudiantes, a pesar de ser capaces de arribar a la expresión formal de las ecuaciones del movimiento, experimentan dificultades cuando se les requiere que describan con sus propias palabras un determinado movimiento, esto es, decir cómo evolucionan las magnitudes cinemáticas (posición, velocidad y aceleración) durante el mismo, teniendo en cuenta el carácter vectorial de dichas magnitudes.

La teoría de los Modelos Mentales de Johnson-Laird (1983) tiene en cuenta los sesgos y principios heurísticos, tales como la representatividad y accesibilidad, que actúan en todo proceso de razonamiento y por lo tanto que también están presentes en la resolución de problemas. En investigaciones previas (Guisasola y Barragués, 2002; Sánchez y otros, 2008; Rosolio y otros, 2017) se ha reconocido la importancia

de los sesgos cognitivos presentes en el razonamiento de estudiantes cuando realizan actividades de resolución de problemas.

El presente trabajo está enmarcado en el proyecto de investigación “Las representaciones múltiples y el lenguaje en la construcción e interpretación de los diagramas de cuerpo libre”, radicado en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la Universidad Nacional de Rosario (UNR). Se analizan y caracterizan las descripciones de un movimiento producidas por un grupo de estudiantes como fuente de información acerca de la representación interna inicial de la situación presentada en el enunciado. Se analiza luego el planteo dinámico de la misma situación que elaboran estos alumnos, a través del reconocimiento de fuerzas como causas de tal movimiento y el planteo de las ecuaciones que les permitirán resolver la situación, indagando además la posible relación entre los diferentes tipos de descripciones y el posterior planteo dinámico. Se trabajó con la hipótesis que las fallas en la resolución tienen su origen en la presencia de sesgos cognitivos.

II. REFERENCIALES TEÓRICOS

Un gran número de investigadores han estudiado los problemas que aparecen en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la física, existiendo numerosas publicaciones enfocadas en las dificultades de los estudiantes de diferentes niveles académicos, llegando hasta el nivel universitario básico. Según Shayer y Adey (1981) muchos de ellos no logran razonar de forma efectiva a un nivel formal adecuado a las necesidades cognitivas asociadas a cualquier acercamiento a la mecánica. Asimismo, Larkin (1980) menciona un conocimiento disciplinar cualitativo insuficiente como otra de las causas de las dificultades en el estudio de la física. Como expresa Jung (1985), para poder operar con expresiones formales dotándolas de significado, los estudiantes deben poseer una sólida base de conocimientos cualitativos de la disciplina, de modo de poder interpretar físicamente lo que expresan las fórmulas.

Giorgi y otros (2005) realizaron un interesante relevamiento de las publicaciones, así como de las representaciones de estudiantes universitarios acerca de los cuerpos en movimiento. Manifiestan no haber encontrado publicaciones en las que se analicen cuáles son las magnitudes físicas que determinan en los estudiantes la construcción de sus representaciones acerca de cuerpos en movimiento.

En este trabajo se asume a los modelos mentales (MM) presentados en la teoría de Johnson-Laird (1986) 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. Tales modelos se construyen y manipulan en la memoria a corto plazo en la cual confluyen los datos que el estudiante toma de la situación en estudio y los contenidos de la memoria a largo plazo.

Cuando una persona resuelve un problema, se considera que las representaciones externas que realiza (gráficos, palabras, símbolos, diagramas, etc.) brindan información acerca de las características de sus MM como representaciones internas. 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.

Usualmente los MM presentan diversos sesgos cognitivos, considerados como recortes en el modelado debido a miradas parcializadas de la situación problemática. La presencia de los mismos implica, en general, alguna inconsistencia con el esquema conceptual disciplinar, de modo que todos los sesgos identificados se asocian a errores conceptuales. Es decir, se asume que un MM puede estar sesgado por razones diversas, pero siempre ese sesgo tiene que ver con recortes interpretados desde la física. Se han reconocido dos tipos de sesgos: facilitador o de economía cognitiva y de fijación o creencia.

Se observa un sesgo facilitador toda vez que el estudiante ignora o justifica inconsistencias. De este modo, quien resuelve actúa de forma que sus decisiones le “facilitan” su trabajo, sin detenerse a analizar todas las implicancias conceptuales. Puede considerarse que este sesgo es de economía cognitiva, ya que corresponde a la selección de la opción más simple para continuar con la resolución de la situación en la que está trabajando. Este sesgo se detecta cuando por ejemplo se asumen datos no explicitados, cuando se incluye en el diagrama de cuerpo libre (DCL) una fuerza “fantasma” que le permite justificar determinados movimientos, cuando se realiza un análisis parcial de la situación focalizando en uno de los elementos e ignorando a otro u omitiendo detalles relevantes, o por incoherencias no advertidas entre el DCL construido y el tipo de movimiento interpretado: “*Se mueve aceleradamente hacia adelante...*” y en el diagrama de fuerzas dibuja una resultante hacia atrás (Llonch y otros, 2011; Rosolio y otros, 2014).

El sesgo de *fijación* o *creencia*, se reconoce cuando se adopta un modelo conocido, con coherencia interna, pero físicamente erróneo. Este sesgo aparece, por ejemplo, cuando los estudiantes consideran que la fuerza de roce “*se opone siempre al movimiento*”, sin considerar que se refiere al posible movimiento relativo de las superficies en contacto, o cuando aplican un esquema de resolución inadecuado.

III. METODOLOGÍA

Se realizó el análisis de las producciones de un conjunto de estudiantes realizadas en el contexto de un examen final integrador de la asignatura Física I, correspondiente al segundo semestre de las carreras de ingeniería de la FCEIA, UNR. La figura 1 muestra el enunciado de la situación problemática y los ítems analizados en este trabajo.

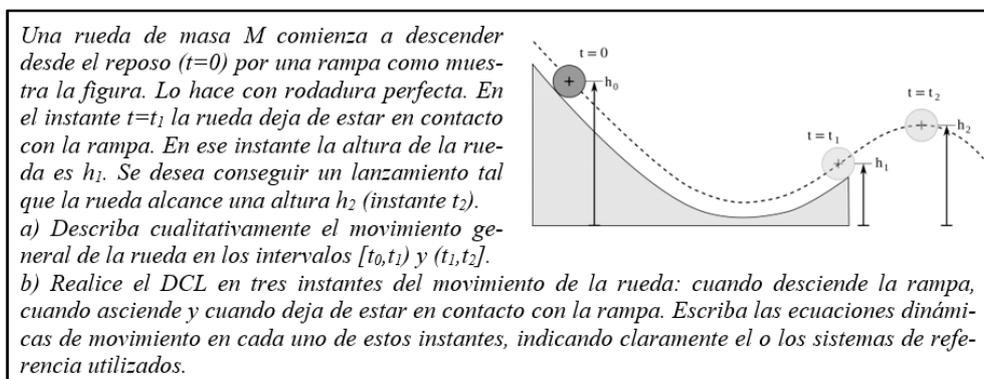


FIGURA 1. Enunciado de la situación problemática.

El problema se diseñó para indagar si los estudiantes pueden componer un texto, dando cuenta de las características de un movimiento, aplicando los contenidos de la cinemática. También se exploraron posibles relaciones entre el desempeño anterior y en las respuestas al ítem b, referidos a la dinámica del cuerpo rígido. Se trabajó con las producciones escritas de un grupo de 47 estudiantes con el objetivo de averiguar si los mismos habían logrado desarrollar las habilidades comunicativas necesarias para describir adecuadamente el movimiento solicitado. Se analizaron, además, las interacciones reconocidas y el planteo de las ecuaciones dinámicas de traslación y rotación del cuerpo.

A partir de una primera lectura de las producciones de los estudiantes en forma conjunta entre las investigadoras, se organizaron tres dimensiones de análisis para el procesamiento de las mismas, definiendo las posibles variables y sus correspondientes modalidades:

1. *Dimensión textual*: corresponde a la descripción cualitativa del movimiento solicitada en el ítem a del enunciado anterior, e incluye las siguientes variables:
 - a. el modelo físico utilizado para el análisis de la situación (partícula o cuerpo rígido) distinguiendo si lo manifiestan en forma explícita o implícita;
 - b. la forma en que describen el movimiento sobre la rampa, observando si lo hacen diferenciando los tramos de descenso y ascenso del cuerpo, en forma completa (describiendo las variaciones de las magnitudes físicas correspondientes al movimiento) o de manera elemental;
 - c. la forma que eligen para describir el movimiento, ya que algunos estudiantes que no logran interpretar la consigna describen la dinámica de la rotación, o lo hacen por energía dejando además de lado el carácter vectorial de las magnitudes cinemáticas involucradas;
 - d. la descripción por separado de la velocidad y aceleración del centro de masa y de la velocidad y aceleración angular, distinguiendo si se refieren al vector o solamente al módulo;
 - e. por último, se observa si en la descripción indican o no que el cuerpo está rototrasladando.
2. *Dimensión gráfica*: corresponde a la construcción de los DCL cuando el cuerpo está descendiendo por la rampa y posteriormente, cuando está ascendiendo. Se diferenció entre aquellos que indicaron que la fuerza de roce es de tipo estático, llamando general a los que no indicaron esa característica de la misma.
3. *Dimensión algebraica*: se observó el planteo de las ecuaciones dinámicas de traslación y de rotación cuando el cuerpo desciende y cuando asciende, estableciendo su coherencia con el DCL y con el sistema coordenado elegido en cada caso; caracterizándolas como incompletas cuando falta alguna fuerza o momento de fuerza u omitieron el segundo miembro de la ecuación.

Posteriormente se analizaron las respuestas de cada uno de los estudiantes en forma profunda e independiente por todas las autoras. Se compararon los resultados, se discutieron algunas diferencias y se buscaron consensos. A partir de ello se establecieron las variables y modalidades de análisis definitivas (tabla 1), para organizar luego la matriz de datos correspondiente al análisis de todas las producciones. Finalmente se aplicaron técnicas de análisis factorial y clasificación (Lebart y otros, 1985) provistas por el software SPAD (DECISIA). El método de clasificación utilizado genera grupos o clases conformadas de manera que los elementos dentro de cada grupo sean lo más homogéneos posibles, lo que implica mínima inercia intraclase y máxima inercia interclase. De este modo se obtiene una partición de la muestra en clases y la caracterización de cada una de ellas, según las modalidades de las variables activas seleccionadas para el análisis. Es importante destacar que el programa utilizado permite identificar a los individuos dentro de cada clase, de modo que fue posible revisar los protocolos de los parangones o sujetos más representativos de cada grupo con el objetivo de obtener más información.

TABLA I. Dimensiones de análisis, variables y modalidades para el estudio de las producciones de los estudiantes.

<i>Dimensión de análisis</i>	<i>Variable</i>	<i>Modalidades</i>	
<i>Textual</i>	Modelo	1-Implicito Partícula 2- Implicito Cuerpo Rígido 3- Explícito Cuerpo Rígido	
	Forma de descripción	1-Cotidiana (lenguaje coloquial no disciplinar) 2-Elemental (producción básica con lenguaje disciplinar) 3-Completa 4-Sólo rodadura perfecta	
	Describe por	1-Cinemática 2-Dinámica 3-Energía	4-Cinemática + Dinámica 5-Básico(uso de palabras de la vida cotidiana)
	Caracterización de la velocidad del centro de masa	1-Módulo 2-Vector	3-Ausente
	Caracterización de la aceleración del centro de masa	1-Módulo 2-Vector	3-Ausente
	Caracterización de la velocidad angular	1-Módulo 2-Vector	3-Ausente
	Caracterización de la aceleración angular	1-Módulo 2-Vector	3-Ausente
	Movimiento general	1-Rototraslación 2-Solo Rotación	3-Solo Traslación 4-No menciona ningún tipo de movimiento
<i>Gráfica</i>	DCL y carácter de la fuerza de roce al descender	1-Fuerza de roce estática bien 2-Fuerza de roce estática mal 3- Fuerza de roce general bien	4-Fuerza de roce general mal 5-Incompleta
	DCL y carácter de la fuerza de roce al ascender	1-Fuerza de roce estática bien 2-Fuerza de roce estática mal 3- Fuerza de roce general bien	4-Fuerza de roce general mal 5-Incompleta
<i>Algebraica</i>	Ecuaciones dinámicas de traslación al descender	1-Trasl.coherente con DCL bien 2-Trasl. coherente con DCL mal 3-Trasl. incoherente con DCL	4-Ausentes 5-Incompletas
	Ecuaciones dinámicas de rotación al descender	1-Rot.coherente con DCL bien 2-Rot. coherente con DCL mal 3-Rot. incoherente con DCL	4-Ausente 5-Incompleta
	Ecuaciones dinámicas de traslación al ascender	1-Trasl.coherente con DCL bien 2-Trasl. coherente con DCL mal 3-Trasl. incoherente con DCL	4-Ausentes 5-Incompletas
	Ecuaciones dinámicas de rotación al ascender	1-Rot.coherente con DCL bien 2-Rot. coherente con DCL mal 3-Rot. incoherente con DCL	4-Ausente 5-Incompleta

IV. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

A continuación, se muestran los resultados del análisis de datos, en primer lugar, los correspondientes a la dimensión textual referidos a la descripción del movimiento, punto central de esta investigación. Se asume que las descripciones darán información acerca de las características de los MM iniciales de los estudiantes. Se analiza luego la clasificación obtenida correspondiente a las dimensiones gráfica y algebraica.

A. Descripción del movimiento

La aplicación del procedimiento estadístico de clasificación de individuos por afinidades arrojó la conformación de 4 clases. La figura 2 muestra la caracterización tipológica de las descripciones obtenida a través del mencionado programa SPAD. En el recuadro superior se indica el número de individuos de cada clase, cuyos integrantes se identifican con el número correspondiente a la misma. Los círculos pequeños representan el centro de gravedad de la clase, siendo su diámetro proporcional al número de individuos que la componen.

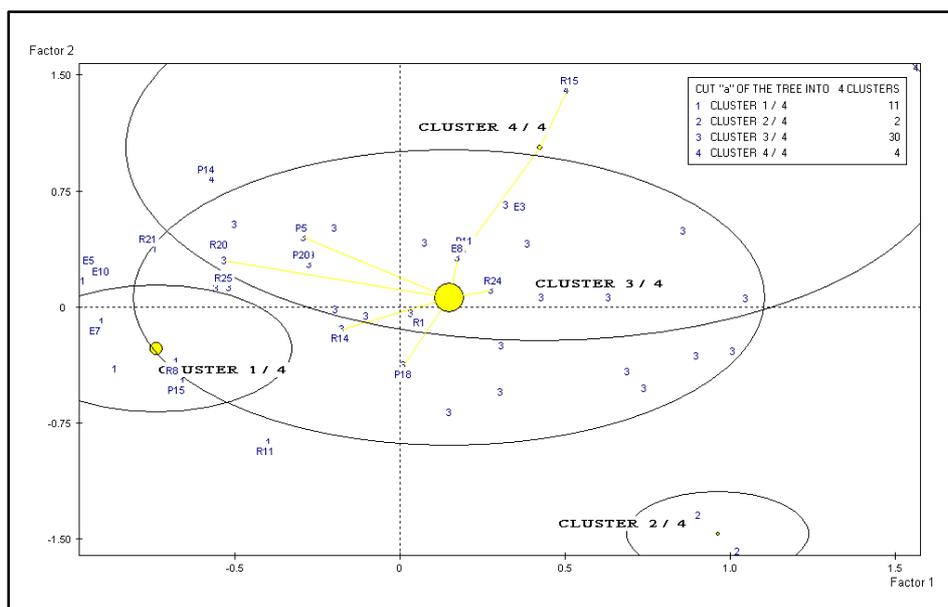


FIGURA 2. Caracterización tipológica de las producciones de los estudiantes al describir el movimiento.

Las clases identificadas se describen a continuación. Para cada una de ellas se indican las modalidades de las variables que la definen y se transcriben los párrafos correspondientes a las producciones de los estudiantes más representativos de cada clase (parangones). Luego de cada cita y entre paréntesis se indica la identificación del individuo y, como variable ilustrativa que no fue tomada en cuenta en los cálculos estadísticos, la calificación final obtenida en la instancia de examen.

Clase 1 Descripción (23.4%). Esta clase agrupa a los estudiantes que realizan una descripción a través de las variables cinemáticas, indicando su carácter vectorial mediante gráficos. Es decir, en su descripción utilizan el lenguaje literal y además el lenguaje gráfico como complemento. Asumen un modelo de cuerpo rígido, en ciertos casos de manera explícita y en otros implícitamente. Algunos individuos de esta clase incluyen la aceleración angular en sus producciones.

La rueda comienza, desde el reposo, a girar, incrementando su velocidad del centro de masa y su velocidad angular hasta llegar al punto más bajo de la rampa, luego comienza a ascender la rampa perdiendo parte de la velocidad. En la bajada la fuerza de roce hace que se incremente la velocidad angular, mientras que el peso de la rueda lo acelera incrementando su velocidad del CM y en la subida comienza a frenarse, la fuerza de roce genera un momento contrario a como tiende a girar la rueda.(R6-7)

Entre los instantes t_0 y t_1 la rueda va a tener un movimiento de rototranslación. Mientras desciende por la rampa se va a acelerar tanto lineal como angularmente hasta que deje de estar en contacto con la rampa.(R9-8)

Clase 2 Descripción (4.3%). Los integrantes de esta clase elaboran una descripción energética del movimiento, la cual puede en principio ser o no adecuada en términos físicos. Trabajan, por lo tanto, con el módulo de la velocidad angular, indicando su aumento o disminución.

Desde que se libera la rueda hasta el punto más bajo de la rampa aumenta la energía cinética de la rueda y disminuye su energía potencial ($-\Delta E_p = \Delta E_c$). Como la rueda desciende con rodadura perfecta ($v_{CM} = \omega r$) se puede decir que existe una fuerza de roce entre la rueda y la rampa y como no hay deslizamiento entre las dos superficies también se deduce que esta fuerza es estática por lo que la energía se conserva. Desde el punto más bajo de la rampa hasta h_1 , parte de la energía cinética que adquirió la rueda vuelve a transformarse en energía potencial y por lo tanto la velocidad de traslación y rotación disminuyen. (R3-9)

En el intervalo (t_0, t_1) la rueda gira y se desplaza, pero no desliza... gira en sentido horario debido al torque ejercido por el roce. La energía se conserva ya que el trabajo de la fuerza de roce es cero. (R13-INS)

Clase 3 Descripción (64%). Las producciones de estos estudiantes se caracterizan fundamentalmente por no incluir la velocidad de traslación del centro de masa ni la velocidad angular. Algunos repiten en sus textos partes del enunciado y otros solamente indican qué entienden por rodadura perfecta.

En el intervalo, la rueda recorrerá la rampa rodando perfectamente, esto quiere decir que el punto P de contacto tendrá velocidad igual a cero en cada instante. (E8-6)

La rueda rototraslada en el intervalo (t_0, t_1). (P5-7)

La rueda en el intervalo (t_0, t_1) describirá un movimiento de rototraslación, es decir, una superposición de un movimiento de traslación y un movimiento de rotación alrededor de un eje que pasa por el CM de la rueda. (R24-10)

Clase 4 Descripción (8.3%). Estos estudiantes adoptan implícitamente un modelo de partícula, por lo cual mencionan sólo el movimiento de traslación.

En el tramo la rueda desciende de una rampa, dice que se suelta del reposo, esta comienza a caer por la acción de su peso y toma una subida en una v final distinta de cero. (R15-INS)

La rueda de masa M que parte del reposo, va aumentando su velocidad a causa de que cae por una rampa inclinada que le hace tener aceleración. La velocidad que adquiere le permite volver a subir el pedacito de rampa, al cual llega en el instante $t=t_1$. (P11-6)

Se observa que la mayoría de los estudiantes elabora descripciones elementales. Aún alumnos de buen rendimiento en el examen tienen dificultades para describir un movimiento que luego pueden resolver formalmente de manera exitosa. Es decir, logran salvar tal descripción elemental al hacer el análisis dinámico, donde dan muestra de un modelo mental acorde con un esquema conceptual coherente, operativo y funcional que sin embargo no lograron activar cuando se les solicitó describir el movimiento. Estos alumnos dan cuenta de un modelo mental inicial incompleto, que les impide expresar en un texto dicha descripción. Puede inferirse en algunos casos la presencia de un sesgo facilitador, que los lleva a interpretar la descripción como la repetición de parte del enunciado.

Menos del 25% de los estudiantes (Clase 1) mostraron un rendimiento parejo y satisfactorio en la instancia de examen final, dando cuenta de MM iniciales completos y coherentes con el modelo conceptual disciplinar desde el cual describen efectivamente el movimiento. Se puede inferir la existencia de un sesgo de economía cognitiva puesto de manifiesto cuando, en lugar de definir los vectores correspondientes a las variables cinemáticas en la descripción, recurren a símbolos que las representan. Sin embargo, en este caso dicho sesgo no está asociado a un error conceptual. Finalmente, muy pocos estudiantes hacen una descripción en términos energéticos, con la presencia de un sesgo facilitador que les lleva a definir la velocidad angular solo en función de su módulo.

B. Estudio dinámico del movimiento

El análisis de las respuestas de los estudiantes a la pregunta que solicitaba la elaboración DCL y el planteo de las correspondientes ecuaciones dinámicas tanto en el descenso como en el posterior ascenso a lo largo de la rampa, dio como resultado los cuatro agrupamientos representados en la figura 3.

Clase 1 Dinámica (38%). Estos estudiantes incluyen en los DCL todas las fuerzas actuantes sobre la rueda, con dirección y sentido correcto. Reconocen el cambio de sentido de la fuerza de rozamiento en el tramo de subida, característica que es conceptualmente más compleja en su análisis. Asignan el carácter estático a dicha fuerza, en consonancia con la caracterización dinámica de la rodadura perfecta, indicando

que han efectuado una lectura comprensiva del enunciado en este aspecto. En cuanto a las ecuaciones dinámicas, las modalidades que asumen las variables asociadas a las mismas no caracterizan a los individuos de este grupo, advirtiéndose que algunos las escriben en forma adecuada y otros no.

Clase 2 Dinámica (30%). Los integrantes de esta clase asignan el sentido correcto a la fuerza de rozamiento, reconociendo su cambio en el tramo de subida. A diferencia de los estudiantes de la Clase 1, no indican el carácter estático de dicha fuerza. Trasladan correctamente las fuerzas identificadas a las ecuaciones del movimiento, que resultan coherentes con el DCL. Es decir, logran traducir adecuadamente del lenguaje gráfico al lenguaje formal en todo el tramo del movimiento.

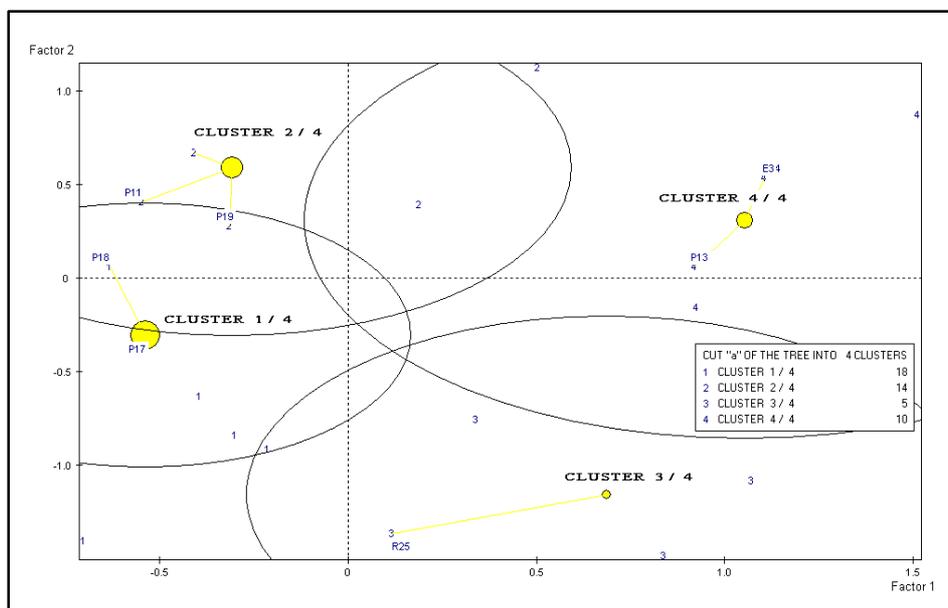


FIGURA 3. Caracterización tipológica de las producciones de los estudiantes en el estudio dinámico del movimiento.

Clase 3 Dinámica (10%). Estos estudiantes se caracterizan fundamentalmente por no incluir en sus producciones las ecuaciones correspondientes a la rotación, tanto cuando el cuerpo baja como cuando sube. Si bien realizan los DCL incluyendo las fuerzas de roce, parecen ignorar la relación causal entre el momento que ellas producen y la aceleración angular.

Clase 4 Dinámica (22%). Los estudiantes de este grupo muestran deficiencias en el reconocimiento de las fuerzas, en particular en el sentido de la fuerza de roce durante el ascenso por la rampa. Las ecuaciones que incluyen son coherentes con los DCL, de modo que trasladan a las mismas los errores en el reconocimiento del sentido de la fuerza de rozamiento. Es decir, muestran dificultades en los registros gráficos y algebraicos.

De este análisis surge que el 68% de los estudiantes reconoce en forma adecuada las fuerzas actuantes sobre el cuerpo, en particular la fuerza de roce, la cual es determinante para explicar las variaciones de la velocidad angular del cuerpo cuando baja y cuando sube. Muchos de ellos parten de una descripción elemental asociada a un MM inicial incompleto que logran reformular en la etapa de reconocimiento de fuerzas. Puede inferirse que estos estudiantes, al comenzar a “resolver” incorporan en su modelo el esquema conceptual que recuperan de su memoria a largo plazo.

El 22% de los estudiantes fallan en el reconocimiento del sentido de la fuerza de roce, dando cuenta de un sesgo de fijación asociado a la concepción de que la fuerza de roce siempre se opone al sentido de movimiento. El 10% restante, si bien reconoce el modelo de cuerpo rígido, evidenciado en sus construcciones gráficas, e identifica la existencia de la fuerza de rozamiento, no reconoce el efecto de la misma en la rotación del cuerpo. De este modo da cuenta de un sesgo de facilitador que le lleva a operar solamente con las ecuaciones de traslación.

V. COMENTARIOS FINALES

Este trabajo pone de manifiesto las dificultades de estos estudiantes a la hora de comunicar verbalmente a través del lenguaje de la física la descripción de un movimiento de rototraslación

Teniendo en cuenta que el programa estadístico utilizado permite conocer la identidad de los individuos pertenecientes a cada clase, fue posible comparar el desempeño de cada estudiante en las tres dimen-

siones de análisis simultáneamente. A partir de este análisis surge que los estudiantes que describen adecuadamente el movimiento se desempeñan más satisfactoriamente al responder las cuestiones referidas a la dinámica del movimiento, principalmente en la más compleja, es decir cuando la rueda asciende la rampa. Esto no se cumple en el sentido inverso pues, como se ha mencionado, un gran número de alumnos construyen un DCL adecuado y plantea correctamente las ecuaciones correspondientes, sin lograr elaborar una descripción completa del movimiento. A título ilustrativo se presenta en la figura 4 los resultados de una comparación en el buen desempeño en la dinámica (DCL y ecuaciones de movimiento) entre el grupo de estudiantes que describió las variables cinemáticas y el que no lo hizo, aplicando una estadística elemental.

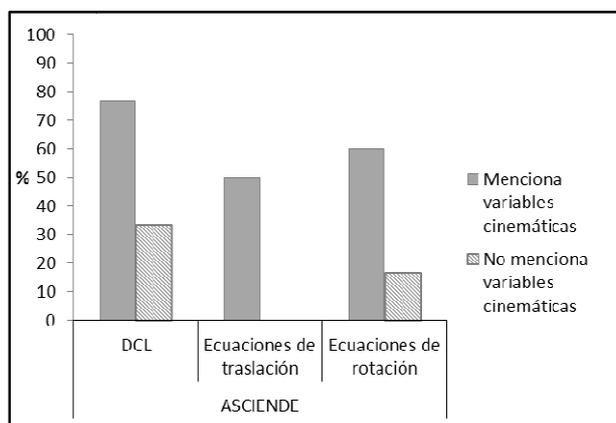


FIGURA 4. Comparación del rendimiento en las tres dimensiones de análisis.

REFERENCIAS

- Giorgi, S., Pozzo, R. y Concari, S. (2005). Cuerpos en Movimiento: Un estudio de investigaciones publicadas y de las representaciones de los estudiantes universitarios. *Ciencia, Docencia y Tecnología*, 16(31), 199-218.
- Guisasola, J. y Barragués, J. (2002). Heurísticas y sesgos de los estudiantes de primer ciclo de universidad en la resolución de problemas de probabilidad. *Enseñanza de las Ciencias*, 20(2), 285-302.
- Johnson-Laird, P. (1983). *Mental models*. Cambridge: Harvard University Press.
- Jung, W. (1985). Uses of cognitive science to science education. *ATEE Symposium on the implications of cognitive science for the education of science teachers*, Kiel, Alemania.
- Larkin, J.H. (1980). Teaching problem solving in physics: the psychological laboratory and the practical classroom. En Tuma, D.T. y Reif, F. (eds.), *Problem Solving and Education*. New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Lebart, L., Morineau, A. y Fenelon, J. (1985). *Tratamiento estadístico de datos*. Barcelona: Marcombo.
- Llonch E, Rosolio A., D'Amico H. y Sánchez P. (2011). Sesgos en la resolución de un problema de dinámica. *Memorias de la XVII Reunión Nacional de Educación en Física*. Córdoba.
- 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(Extra), 195-205.
- Rosolio, A., Cassan, R., Llonch, E. y Sanchez, P. (2017). Concepciones de los estudiantes universitarios en cinemática y dinámica de la partícula. *Revista de Enseñanza de la Física*. 29(Extra), 185-196.
- Sánchez, P., Massa, M. y Rosolio, A., (2008). A problem with different solutions: a study of university students' modeling and reasoning. *GIREP. Workshop*, Nicosia, Chipre, 176-180.
- Shayer, M. y Adey, P. (1981). *Towards a Science of Science Teaching*. Londres: Heinemann.