

# Concepciones de los estudiantes universitarios en cinemática y dinámica de la partícula

University students' conceptions in particle kinematics and dynamics

REVISTA  
DE  
ENSEÑANZA  
DE LA  
FÍSICA

Alejandra Rosolio<sup>1</sup>, Rosana Cassan<sup>1</sup>, Elena Llonch<sup>1</sup> y Patricia Sanchez<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Grupo de Conceptualización en Educación en Ciencias, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Av. Pellegrini 250, CP 2000, Rosario. Argentina.

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

## Resumen

Diversas investigaciones en enseñanza de las ciencias han abordado la presencia de sesgos en el razonamiento de estudiantes cuando estos realizan actividades de resolución de problemas. En el presente trabajo se analizan las actuaciones de estudiantes de física básica universitaria de carreras de ingeniería al resolver un conjunto de situaciones problemáticas con formato de selección múltiple con justificación, sobre contenidos de cinemática y dinámica de la partícula. Al solicitar la justificación de las opciones seleccionadas, se espera que los estudiantes desplieguen sus habilidades argumentativas y muestren cómo relacionan la información que brinda el enunciado provisto con lo expresado en la opción seleccionada. Los resultados del análisis muestran que un número considerable de estudiantes de la muestra producen sus justificaciones mediante la aplicación de principios heurísticos, especialmente el llamado de accesibilidad, y que dichas justificación están afectadas por la presencia de sesgos de razonamiento.

**Palabras clave:** Cinemática y dinámica de la partícula; Resolución de problemas; Estudiantes universitarios; Modelo situacional; Sesgos cognitivos.

## Abstract

Results of research in science teaching have addressed the presence of bias in student reasoning when they undertake problem solving activities. In the present work we analyze the performances of basic university Physics students of engineering degrees when they solve a set of problematic situations with multiple choice formats with justification, on kinematic and particle dynamics contents. In this task, students are expected to display their argumentative skills and show how they relate the information provided by the statement with what is expressed in the selected option. The results of the analysis show that a considerable number of students in the sample produce their justifications by applying heuristic principles, especially the so-called accessibility principle, and those justifications are affected by the presence of reasoning biases.

**Keywords:** Particle kinematics and dynamics; Problem solving; University students; Situational model; Cognitive biases.

## I. INTRODUCCIÓN

Las tareas de resolución de problemas realizadas por estudiantes de física básica universitaria involucran dos tipos de razonamiento. Por un lado debemos considerar el razonamiento conceptual informal asociado al análisis cualitativo que realiza el estudiante a la hora de elaborar el modelo situacional inicial de la situación a resolver. Asimismo el estudiante debe poner en juego instancias de razonamiento físico-matemático formal, en un primer momento al plantear y resolver las ecuaciones correspondientes, y posteriormente, al evaluar los resultados alcanzados en función del significado físico de los mismos así como de su plausibilidad.

Investigaciones en psicología cognitiva y enseñanza de las ciencias (Tversky y Kahneman, 1974; Serrano, Batanero, Ortiz, y Cañizares, 1998; Guisasola y Barragüés, 2002; Sánchez, Massa y Rosolio, 2008) han reconocido la importancia de los sesgos presentes en el razonamiento de los sujetos en general y en particular 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), y tiene como objetivo analizar las actuaciones de una muestra de 159 estudiantes de física básica universitaria de carreras de ingeniería al resolver un conjunto de situaciones problemáticas en formato de selección múltiple con justificación, sobre contenidos de cinemática y dinámica de la partícula.

## II. REFERENCIALES TEÓRICOS

Numerosas investigaciones en enseñanza de las ciencias mencionan la importancia de la existencia de una interrelación (en términos de coherencia) entre la descripción cualitativa que realiza el estudiante de la situación física a analizar y la descripción matemática formal que elabora. Según Hull y otros (2013) esta coherencia debe ponerse de manifiesto en dos momentos considerados claves a lo largo del proceso de resolución: cuando se establecen las ecuaciones a partir del análisis conceptual inicial (producto de la elaboración del modelo situacional correspondiente) y al momento de evaluar el resultado alcanzado atendiendo al significado físico y la plausibilidad del mismo. Según estos autores, las diferentes estrategias y herramientas de enseñanza producidas a partir de los resultados de investigaciones en enseñanza de la física y la ingeniería centrados en la resolución de problemas, no valoran explícitamente dicha relación.

El empleo de preguntas de selección múltiple en instancias de evaluación del aprendizaje sin la correspondiente justificación de la opción seleccionada puede enmascarar los resultados de dichas evaluaciones. En este tipo de evaluaciones, cuando un estudiante justifica con un texto la selección que ha realizado debe poner en juego sus habilidades argumentativas indicando cómo conecta la información que brinda el enunciado con lo expresado en la opción seleccionada.

En dichas justificaciones elaboradas por los estudiantes es factible identificar la presencia de los llamados principios heurísticos (Tversky y Kahneman, 1974; Fiedler y von Sydow, 2015) característicos del razonamiento informal. Los más comunes son el heurístico de accesibilidad, cuando el sujeto que resuelve considera solamente cierta información, y el heurístico de representatividad, generalmente asociado a información superficial para la tarea.

La accesibilidad es un principio heurístico basado en la mayor o menor disponibilidad de la información. Es útil en las tareas de resolución de problemas solamente cuando la frecuencia objetiva de cierto fenómeno está en correlación con la disponibilidad de ejemplos de esa clase. Esto no es lo que en general ocurre y a este hecho se suma que los individuos tienden en general a seleccionar la información que confirma sus propias creencias.

En el caso del heurístico de representatividad, puede ser un recurso razonable en aquellos casos en que se dispone de escasa información, hecho bastante frecuente. Sin embargo, en algunas ocasiones es posible que desvíe el razonamiento.

La aplicación de estos principios heurísticos sólo será productiva si la información a la que se asocian es relevante, en caso contrario llevará a resultados erróneos (Pozo, 1991; Salmon, 1991).

Otro aspecto a considerar a partir del análisis de las justificaciones elaboradas por los estudiantes es la posibilidad de identificar la presencia de sesgos o recortes en el razonamiento. Los sesgos de confirmación y de creencia son los más habituales en los procesos de razonamiento informal involucrados en la resolución de problemas. El sesgo de confirmación consiste en recortar la información considerada de modo de tener en cuenta solamente la que apoya las creencias o hipótesis de partida del sujeto que resuelve. Por otra parte, el sesgo de creencia implica interpretar la información disponible según la credibilidad de la conclusión a la que se arriba. Ambos sesgos tienen en común la característica de encaminarse a preservar las creencias del sujeto que resuelve. Es decir, los sujetos construyen y ejecutan modelos situacionales que para ellos presentan coherencia aunque conduzcan a conclusiones inadecuadas.

## III. METODOLOGÍA

### A. Muestra e instrumento

Se analizaron las tareas de resolución de problemas de mecánica introductoria, en instancia de evaluación parcial luego de desarrollar contenidos de cinemática y dinámica de la partícula, realizadas por 159 estudiantes de Física I (Mecánica), asignatura que corresponde al segundo semestre del plan de estudios para carreras de ingeniería de la FCEIA – UNR. Estos estudiantes pertenecían a tres comisiones diferentes, respondiendo a características distintas en cuanto a especialidad de carrera de ingeniería elegida, horarios de cursado y docentes a cargo, a fin de tomar una muestra lo más heterogénea posible.

Como instrumento se utilizó un conjunto de situaciones problemáticas en formato de selección múltiple con justificación sobre contenidos de cinemática y dinámica de la partícula, el cual se presenta en el anexo 1, cuyos lineamientos siguen el *Mechanics Baseline Test* (MBT) (Hestenes y Wells, 1992). El MBT se centra en torno a conceptos que un estudiante de física introductoria debería haber construido luego de que los mismos fueran abordados en un curso universitario de física introductoria, y ha sido diseñado a fin de evaluar la comprensión alcanzada de esos conceptos. Según refieren Hestenes y Wells (1992), autores de este test, el profesor podrá utilizarlo en la forma que crea conveniente, pero recomiendan usarlo luego de la instrucción, con excepción de que el mismo fuese aplicado en cursos universitarios avanzados.

Para poder llevar a cabo la investigación, se solicitó una copia del test original al grupo de investigadores que organizó esta prueba, quienes accedieron a enviarla y lo hicieron en su versión original en idioma inglés.

Dicho test fue modificado en varios aspectos a fin de adaptarlo al grupo objeto de la investigación. En primer lugar se elaboró un test en idioma español tratando de conservar el espíritu de la versión original, teniendo en cuenta el uso del idioma en el contexto académico en nuestro país. Además no se utilizaron todas las cuestiones planteadas en el original, el cual incluye situaciones de cinemática, dinámica, cantidad de movimiento y energía. El instrumento aquí utilizado se centró en algunas cuestiones de cinemática y dinámica que incluyen aspectos que más adelante se detallarán, excluyéndose aquellas que no eran objeto de esta indagación. Por último, vale aclarar que antes de la aplicación del test definitivo se realizó una prueba piloto de validación con una muestra reducida de estudiantes del semestre de cursado previo, para determinar si las opciones planteadas en el original eran comprendidas por los estudiantes o aparecían otras opciones, ya que en la versión de prueba se incluyó en todos los casos la opción “Ninguna de las anteriores, especificar la que usted considera”. Es así que se detectaron algunas respuestas que no tenían una frecuencia apreciable de ocurrencia o algunas nuevas, lo que llevó a un cambio en ciertas opciones del test.

La característica que distingue nuestro test del original es que se solicitó que en todos los casos el estudiante justifique sus respuestas, de modo de obtener información más completa, en el sentido expuesto en el apartado anterior. La secuencia de preguntas se organizó respetando el ordenamiento propuesto por los autores del test original.

## B. Análisis de datos

La investigación adoptó un perfil cuali-cuantitativo a fin de enriquecer el estudio complementando metodologías. Se indagó acerca de los procesos llevados a cabo por estos estudiantes cuando resuelven problemas, con el objetivo de analizar sus razonamientos e identificar posibles sesgos. Los protocolos fueron estudiados siguiendo un enfoque interpretativo de las justificaciones de las opciones elegidas por cada estudiante. Dichas justificaciones fueron analizadas en profundidad en forma independiente por los autores de este trabajo, desde el marco teórico expuesto. Concluida esta etapa, se compararon los análisis realizados, se discutieron algunas diferencias y se buscaron consensos.

El análisis cuantitativo se centró en el registro de las frecuencias porcentuales de cada una de las opciones de cada situación problemática (SP) planteadas.

Las SP se agruparon en cinco clases, en función de los conceptos involucrados en cada una de ellas. En este sentido cabe aclarar que cada pregunta podría abarcar otros conceptos, pero aquí se mencionan solo aquellos que resultan de interés en esta investigación.

- Clase I, SP 1 y 2: movimiento en una dimensión y movimiento curvilíneo, con vínculo que restringe el movimiento.
- Clase II, SP 3 y 11: movimiento en un plano vertical con diferentes condiciones iniciales del movimiento.
- Clase III, SP 2, 5 y 7: cinemática y dinámica del movimiento circular.
- Clase IV, SP 4 y 10: fuerza resultante en un movimiento rectilíneo.
- Clase V, SP 8 y 9: segunda y tercera ley de Newton.

Como se observa en la clasificación anterior, la SP 2 fue considerada en las clases I y III, teniendo en cuenta los aspectos asociados a la cinemática y dinámica de la partícula. La SP 6 no se ha tenido en cuenta en este estudio debido a que un gran número de estudiantes no la respondieron y otros cometieron errores numéricos en la resolución que no permitieron detectar las falencias desde el punto de vista conceptual.

#### IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el estudio cuantitativo se realizó un análisis de la distribución (en porcentaje) de la elección de los estudiantes de las distintas opciones presentadas en cada SP, agrupadas por clase. Se interpretaron además las justificaciones elaboradas a las distintas opciones elegidas a fin de indagar en las dificultades que se presentaron al interpretar y resolver las SP. Cabe aclarar que hay porciones de los gráficos circulares que no se describen ya que el número de estudiantes que la seleccionan no resulta representativo. De la interpretación de las mismas surgen las siguientes consideraciones:

*Clase I:* las situaciones agrupadas corresponden a un movimiento a lo largo de una rampa en un plano vertical. El bloque en la SP 1 desliza por un plano inclinado sin rozamiento, mientras que en la SP 2 el plano se curva transformándose en un arco de circunferencia, también sin rozamiento, estando el bloque en el punto más bajo de este arco.

*SP 1:* la mayoría de los estudiantes (83%) responden en forma correcta a la cuestión planteada como se muestra en la figura 1, considerando la aceleración paralela al plano y con el mismo sentido de la velocidad. Si bien la mayoría responde desde el análisis de un movimiento rectilíneo, es de notar que algunos estudiantes apelan a conceptos de la dinámica representando fuerzas y aludiendo a la segunda ley de Newton. Es importante destacar que un bajo porcentaje (8%) seleccionan la opción que plantea la aceleración en sentido opuesto a la velocidad.

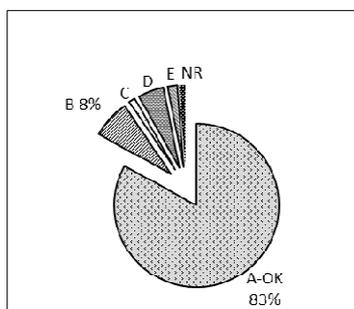


FIGURA 1. Porcentajes de respuestas para cada opción elegida en SP 1.

*SP 2:* El 58% de los estudiantes responde en forma correcta (figura 2). Del 17% que eligen en forma incorrecta la opción D (aceleración nula) se aprecia que muchos de ellos observan solo la componente tangencial de la aceleración en el movimiento curvilíneo, la cual es cero en ese punto de la trayectoria, sin tener en cuenta la componente radial; en este sentido, el estudiante E6 expresa: "...no hay fuerzas en (refiriéndose al eje horizontal), por lo que no hay aceleración y su velocidad es constante" Estos estudiantes al evaluar los cambios en el movimiento solo consideran el cambio del módulo de la velocidad y no de la dirección de la misma.

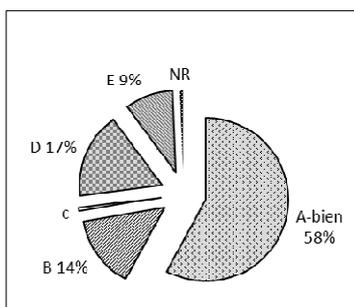


FIGURA 2. Porcentajes de respuestas para cada opción elegida en SP 2.

Algunos de los estudiantes que eligen la opción B (14%) hacen notar que la aceleración tiene siempre el sentido del movimiento. Cabe destacar que del 9% que elige la opción E, la mayoría reconoce la existencia de una aceleración con componentes radial y tangencial, resultando ilustrativa la resolución identificada como R14 que se muestra en la figura 3, indicando en el texto del dibujo, que selecciona la dirección de la flecha 2.

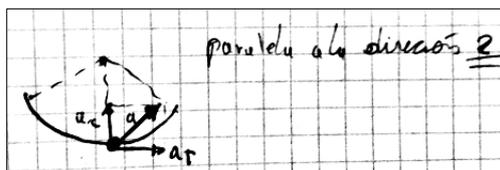


FIGURA 3. Respuesta del estudiante R 14 a la SP 2 eligiendo la opción (E): “otra de las dibujadas”.

Clase II: las dos situaciones consideradas en esta clase responden al movimiento de un cuerpo bajo la acción de la interacción gravitatoria, pero con diferentes condiciones iniciales: en la SP 3 la velocidad inicial es de dirección horizontal y la SP 11 vertical. La complejidad de la SP 11 es mayor, incluye el esquema de una fotografía *multiflash* y la presencia de un resorte, solicitando el análisis detallado del módulo de la aceleración en el movimiento vertical hacia arriba de una pelotita desde que abandona un resorte hasta que llega a su altura máxima.

SP 3: la mayoría de los estudiantes (72%) responden en forma correcta al seleccionar la flecha que representa la aceleración con dirección vertical y sentido hacia abajo, según se muestra en la figura 4.

El resto de las respuestas se distribuyen con similar porcentaje (alrededor del 9 % cada grupo), considerando la aceleración en el sentido del movimiento (tangente a la trayectoria), la aceleración nula u otra aceleración no planteada en las opciones presentadas en el test. Por ejemplo, los que responden aceleración nula confunden conceptos de velocidad y aceleración utilizándolos indistintamente, como expresara el estudiante E37: “La aceleración es nula ya que al salirse de la rampa el objeto posee aceleración hasta llegar a su altura máxima (posición III) que es donde la aceleración es nula y luego empieza a caer”.

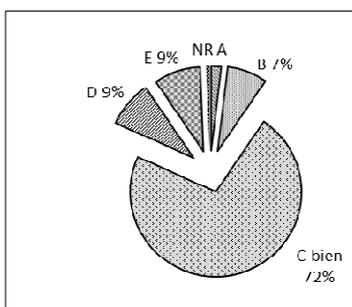


FIGURA 4. Porcentajes de respuestas para cada opción elegida en SP 3.

SP 11: el 35% de los estudiantes responde en forma correcta (figura 5). El 55% que responden en forma incorrecta, considera una aceleración variable, cuyo valor va disminuyendo desde que abandona el resorte hasta llegar a la altura máxima, donde se hace nula. Estos estudiantes tienen dificultad con la conceptualización en cinemática, ya que para ellos un cambio en la velocidad implica una variación de la aceleración, según lo expresa el estudiante A35: “...ya que en la posición Z (máxima altura) la velocidad es nula, por lo tanto la aceleración disminuye hasta llegar a esa posición”.

Del análisis de los protocolos surge que un grupo de 10 estudiantes mostraron para esta pregunta incoherencias en las opciones elegidas, ya que seleccionaron la opción que considera la aceleración nula en la altura máxima y además que esa aceleración es igual en todos los puntos del recorrido. Para este análisis, las respuestas de estos individuos no se tuvieron en cuenta como válidas.

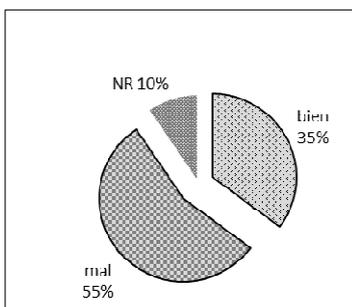
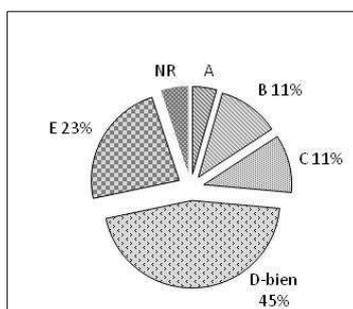


FIGURA 5. Porcentajes de respuestas para cada opción elegida en SP11.

*Clase III:* las tres situaciones agrupadas corresponden al movimiento circular, la 2 y la 7 en un plano vertical y la 5 en un plano horizontal. La complejidad de las preguntas se incrementa a partir de la primera de ellas (SP 2) en la cual solo deben responder acerca de la dirección y sentido de la aceleración. La pregunta 5 presenta un movimiento con velocidad de módulo constante, mientras que en la 7 el módulo de la velocidad es variable y además para seleccionar una respuesta es necesario realizar un cálculo.

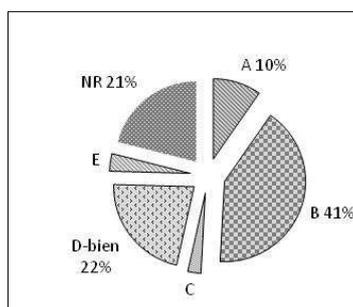
*SP 2:* el análisis de esta situación fue descripto en la Clase I.

*SP 5:* el 45% de los estudiantes responde en forma correcta (figura 6) y además, un 23% analiza bien la aceleración. El 5% no responde y el resto (50%) no ha conceptualizado la segunda ley de Newton dándoles direcciones o sentidos distintos a la fuerza resultante y a la aceleración. Es posible que esta dificultad aparezca debido a que el vínculo que ejerce la fuerza resultante (fuerza de rozamiento) sobre la moneda, sea más complejo de apreciar que una rampa (SP 2) o una cuerda (SP 7). Independientemente del módulo o del sentido asignado a la aceleración, el 34% (23% + 11%) de los estudiantes plantea fuerza resultante con sentido hacia afuera de la trayectoria, como se desprende de las expresiones del estudiante identificado como R41, quien luego de justificar en forma correcta las direcciones de la aceleración y de la velocidad, dice: "...y la fuerza resultante tiende a mover la moneda para afuera ya que tiende a continuar moviéndose en línea recta". Asimismo se puede destacar que el 22% (11% + 11%) plantea aceleración nula, y la mitad de ellos supone fuerza resultante en el sentido de la velocidad, como el estudiante A17, que expresa: "...la aceleración es nula ya que la velocidad es constante, la velocidad es tangente a la trayectoria, por lo tanto la sumatoria de fuerzas también tendría esa dirección y sentido, debido a que solo sufre velocidad".



**FIGURA 6.** Porcentajes de respuestas para cada opción elegida en SP 5.

*SP 7:* solo el 22% de los estudiantes resuelven correctamente esta situación y el 21% no responde. Es posible considerar que esto último ocurre tanto por su mayor complejidad (movimiento en un plano vertical con aceleración variable) como por el requerimiento de obtener un resultado numérico. El mayor porcentaje responde por la opción B que corresponde a suponer equilibrio (aceleración nula), similar a la pregunta 2 opción D, ya comentada. El 10% de los estudiantes reconocen a la fuerza que realiza la cuerda como única interacción.



**FIGURA 7.** Porcentajes de respuestas para cada opción elegida en SP 7.

*Clase IV:* en ambas situaciones los cuerpos se desplazan con trayectorias rectilíneas. Existen diferencias en la forma de presentación del problema. En la situación 4 se presenta el diagrama de cuerpo libre (DCL) del bloque ya elaborado y las posibles respuestas son relaciones entre los módulos de las fuerzas involucradas. En la situación 10 se presenta un esquema con el sentido de movimiento de un disco y diversas flechas que indican direcciones y sentidos de fuerzas, entre las que se debe optar para lograr la respuesta.

SP 4: el 38% de los estudiantes responde en forma correcta. Del análisis de sus justificaciones se desprende que aquellos que plantean la segunda ley de Newton por componentes (en las direcciones horizontal y vertical) logran en su gran mayoría la respuesta correcta, aunque algunos tienen dificultades en las relaciones trigonométricas y un porcentaje muy bajo no advierte que la aceleración es nula. Las mayores dificultades están en aquellos que eligen la opción D:  $F > fr$  y  $N = P$  (33%). Algunos de estos estudiantes justifican a partir de las leyes de Newton priorizando el análisis en el sentido del movimiento, considerando solo la componente de la fuerza  $F$  en el sentido de la horizontal. Otros, en cambio, no plantean la suma de fuerzas indicando que la fuerza  $F$  debe ser mayor que la fuerza de rozamiento como condición necesaria para que el cuerpo se mueva sobre la superficie, según expresa el estudiante A13:

*...para que el bloque esté en movimiento la fuerza de roce debe ser menor que la fuerza aplicada sobre él, y por otro lado, para que el bloque se mantenga sobre la superficie la normal y el peso deben equilibrarse, es decir  $N = P$*

Los estudiantes que eligen la opción A (12%):  $F = fr$  y  $N = P$  plantean la segunda ley de Newton o la igualdad de estas fuerzas sin tener en cuenta la dirección de  $F$ . Del 14% de los estudiantes que eligen la opción *ninguna de las anteriores* algunos tienen problemas en el álgebra involucrada, otros plantean un movimiento con aceleración, y el resto tiene respuestas incoherentes.

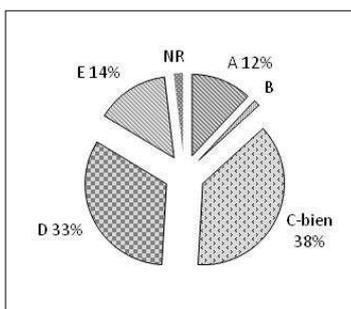


FIGURA 8. Porcentajes de respuestas para cada opción elegida en SP 4.

SP 10: el 53% de los estudiantes responde en forma correcta, justificando muchos de ellos mediante la suma de fuerzas por el método del paralelogramo. De las respuestas incorrectas la más significativa es la opción B (29%) seleccionando una fuerza opuesta a la dada. De sus justificaciones se desprende que enfatizan su respuesta en mantener la dirección del movimiento sin tener en cuenta que la consigna indica el sentido de la fuerza resultante.

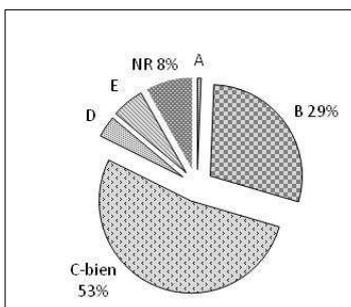


FIGURA 9. Porcentajes de respuestas para cada opción elegida en SP 10.

Clase V: en las dos situaciones que conforman esta clase, los cuerpos están en equilibrio. En la SP 8 se mueven con velocidad constante en una trayectoria vertical y en la SP 9 están en reposo. Para su resolución es necesario plantear las leyes de la dinámica.

SP 8: el 62% de los estudiantes responde en forma correcta, y el 11% no responde. De las justificaciones de las respuestas incorrectas, surge que la mayoría de los que eligen la opción C (10%) confunden velocidad con aceleración (dificultades en la cinemática), mientras que el 13% que elige la opción D comete diversos errores conceptuales.

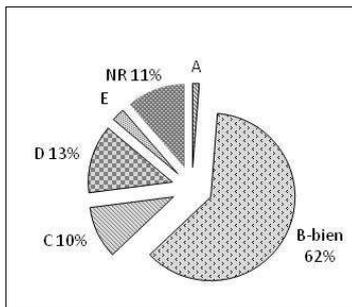


FIGURA 10. Porcentajes de respuestas para cada opción elegida en SP 8.

SP 9: el 75% de los estudiantes responde en forma correcta, y el porcentaje que no responde es menor a la anterior (9%). De las justificaciones de los que responden la opción D (14%) se observa que la mayoría ha calculado la fuerza que ejerce la cuerda 2, es decir que la mayor dificultad se asocia a la comprensión del enunciado.

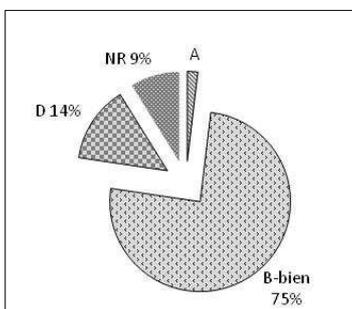


FIGURA 11. Porcentajes de respuestas para cada opción elegida en SP 9.

En la figura 12 se presentan los porcentajes de respuestas correctas a las preguntas, agrupadas en clases, según los aspectos antes mencionados.

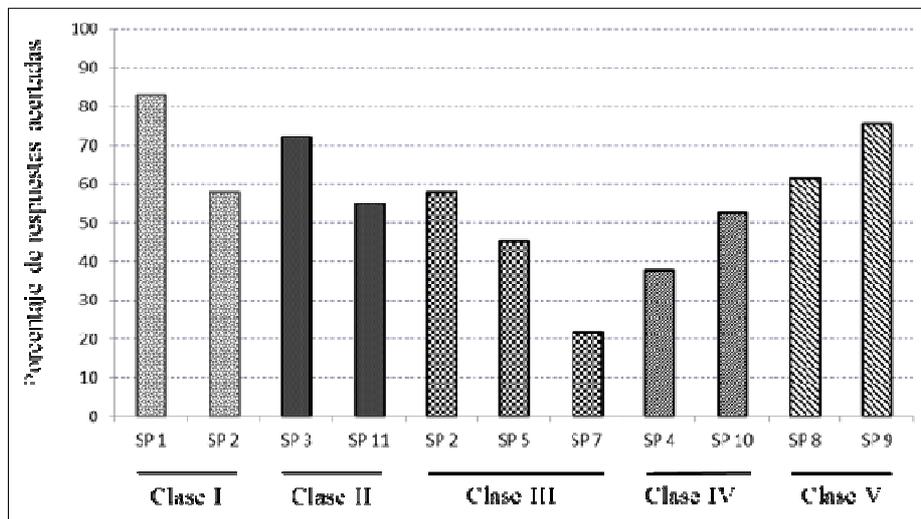


FIGURA 12. Porcentajes de respuestas acertadas para cada SP, agrupadas en clases en función de los conceptos involucrados.

Se observa que la Clase 3, que involucra conceptos de cinemática y dinámica del movimiento circular, presenta los menores porcentajes de respuestas correctas, en especial la pregunta 7 que involucra el movimiento circular en un plano vertical para una situación cotidiana, como es el movimiento de una hama-ca. Por otro lado, las Clases I y V son las que presentan mayor porcentaje de respuestas correctas.

## V. REFLEXIONES FINALES

Como era de esperar, la SP que arrojó la mayor cantidad de respuestas correctas fue la SP 1. La misma corresponde a un movimiento en un plano inclinado sin rozamiento, situación trabajada en numerosos ejemplos y cuya resolución no presentó mayores dificultades.

En el movimiento circular horizontal, los resultados muestran que la mitad de los estudiantes presentan fallas en el modelado situacional. La tercera parte responde que la resultante de fuerzas tiene sentido hacia afuera, aparentemente desde la percepción, recuperando la sensación de alguna experiencia previa, al expresar que el cuerpo tiende a “escapar” hacia afuera. A partir de las justificaciones expresadas por estos estudiantes, puede interpretarse que su modelo situacional está fuertemente determinado por un heurístico de accesibilidad a partir de la información disponible, que prevalece ante los contenidos conceptuales que no han sido adecuadamente construidos. Quienes responden que la aceleración es nula y la fuerza resultante tiene la dirección tangencial dan cuenta de la presencia de un sesgo facilitador en su razonamiento, ya que elaboran su respuesta a partir de la consideración de un movimiento rectilíneo.

En el movimiento circular vertical, si bien el porcentaje de respuestas correctas es mayor en la pregunta 2 (porción curva de la rampa) que en la pregunta 7 (hamaca), los errores detectados corresponden fundamentalmente a la consideración de aceleración nula, respuestas elaboradas a partir de modelos situacionales afectados por un sesgo facilitador. La aplicación de un heurístico de representatividad los lleva a asociar esta situación con situaciones problemáticas resueltas en instancias de enseñanza–aprendizaje que correspondían a situaciones de reposo.

En las situaciones en que los cuerpos se desplazan en trayectorias rectilíneas mientras sobre ellos actúan varias fuerzas, se detectan falencias en la lectura comprensiva de los enunciados. En el caso de la SP 4 la deficiencia aparece en la interpretación del esquema provisto, mientras que en la SP 10 la falla aparece en la lectura del texto de la consigna. Tales falencias generan modelos situacionales inadecuados y sesgados.

Las situaciones que corresponden al movimiento de un cuerpo bajo la única acción de la fuerza de interacción gravitatoria se refieren a tiro oblicuo con velocidad inicial horizontal (SP 3) y tiro vertical (SP 11). En el caso del tiro oblicuo, si bien la mayoría responde correctamente, el resto da muestra de una confusión conceptual entre los conceptos de velocidad y aceleración. Las explicaciones de estos estudiantes indican que responden desde modelos situacionales afectados por un sesgo facilitador. En el tiro vertical, poco más de la tercera parte de los estudiantes responden correctamente. La gran mayoría da muestras del mismo sesgo facilitador al confundir aceleración con velocidad. Esta diferencia en las respuestas correctas entre las dos situaciones problemáticas puede atribuirse a la mayor complejidad en la estructura de la SP 11.

En las situaciones de cuerpos en equilibrio (SP 8 y SP 9), el mayor porcentaje de respuestas correctas corresponde a la situación de reposo, donde las respuestas erróneas se asocian a la experiencia previa de “cuerpos colgando de una cuerda” que les lleva a calcular la fuerza que sostiene al cuerpo en lugar de la perdida, dando cuenta de la aplicación de un heurístico de accesibilidad que los lleva a un resultado erróneo. Responden y justifican desde un modelo situacional que evidencia la presencia de un sesgo facilitador. En la situación en la que los bloques están sujetos a un ascensor que se mueve con velocidad constante, las justificaciones de las respuestas incorrectas se asocian a un sesgo facilitador, al confundir aceleración con velocidad o modelos situacionales inadecuados debido a errores conceptuales diversos.

Las explicaciones de los estudiantes a las respuestas erróneas permiten afirmar que, en general, las fallas en el razonamiento responden a la presencia de principios heurísticos, sobre todo el heurístico de accesibilidad. Esto lleva a los estudiantes a recuperar y desplegar esquemas de resolución que habían aplicado exitosamente en otras situaciones previas, sin reparar que no se ajustan a las condiciones de las preguntas del test.

Muchas de las dificultades detectadas se asocian a la tendencia de los estudiantes a responder las consignas sin utilizar el formalismo, desde un modelo situacional sesgado que atiende a aspectos superficiales, descuidando el significado físico. Esto se sustenta en el análisis de las justificaciones elaboradas por los estudiantes en apoyo a las respuestas elegidas.

Por otro lado, en muchos casos los textos producidos por los estudiantes para responder a la solicitud de justificación se dan desde modelos sesgados, ya que responden en forma superficial, muchas veces repitiendo el texto de la consigna, sin analizar la validez de los conceptos involucrados. Se detectan falencias en sus habilidades argumentativas al no conectar la información que brinda el enunciado con lo expresado en la opción seleccionada.

## AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue parcialmente financiado por la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Rosario en el marco del Proyecto ING 459 “Las representaciones múltiples y el lenguaje en la construcción e interpretación de los diagramas de cuerpo libre”.

## REFERENCIAS

Fiedler, K. y von Sydow, M. (2015). Heuristics and biases: Beyond Tversky and Kahneman’s (1974) Judgment under uncertainty. En Eysenck–Groome (Eds) *Cognitive Psychology. Revisiting the Classic Studies*. Reino Unido: Sage.

Guisasola, J. y Barragués, J. I. (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.

Hestenes, D. y Wells, M. (1992). A Mechanics Baseline Test. *The Physics Teacher*, 30, 159–166.

Hull, M., Kuo, E., Gupta, A. y Elby, A., (2013). Problem–solving rubrics revisited: Attending to the blending of informal conceptual and formal mathematical reasoning, *Physical Review Special Topics, Physics Education Research*, 9 (010105), 1–16.

Pozo, J. (1991). Las ideas de los alumnos sobre ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1), 83–94.

Salmon, M. (1991). Informal Reasoning and Informal Logic. En Voss, Perkins y Segal (Eds.), *Informal reasoning and education*, 153–168. Hillsdale, New Jersey: LEA.

Sánchez, P., Massa, M. y Rosolio, A. (2008). A problem with different solutions: a study of university students’ modeling and reasoning. *GIREP International Conference and MPTL Workshop*, Nicosia, Chipre, 176–180.

Serrano, L., Batanero, C., Ortíz, J., y Cañizares, M. (1998). Heurísticas y sesgos en el razonamiento probabilístico de los estudiantes de secundaria. *Educación Matemática*, 22, 7–25.

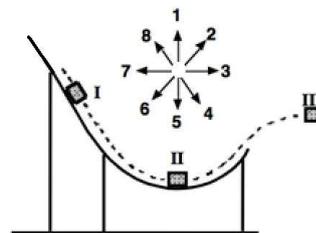
Tversky, A. y Kahneman, D. (1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. *Science*, New Series, 185(4157), 1124–1131.

**ANEXO 1**

**RESPONDER A LAS CONSIGNAS JUSTIFICANDO BREVEMENTE E INCLUYENDO LOS CÁLCULOS REALIZADOS CUANDO SEA NECESARIO.**

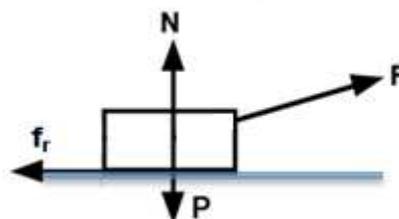
Las tres preguntas siguientes (1, 2 y 3) están referidas al diagrama que se muestra a la derecha: un bloque que desliza a lo largo de una rampa sin rozamiento de izquierda a derecha.

Las flechas numeradas indican posibles direcciones y sentidos de las magnitudes a que se alude en las preguntas, en tres posiciones distintas en su movimiento.



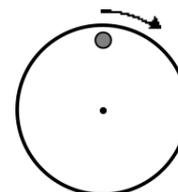
1. ¿Cuál de las flechas representa la aceleración del bloque cuando está en la posición I (rampa recta)?  
 (A) 4    (B) 5    (C) 8    (D) nula    (E) Otra de las dibujadas, indicar cuál.
2. ¿Cuál de las flechas representa la aceleración del bloque cuando está en la posición II (arco de circunferencia)?  
 (A) 1    (B) 3    (C) 7    (D) nula    (E) Otra de las dibujadas, indicar cuál.
3. ¿Cuál de las flechas representa la aceleración del bloque después de abandonar la rampa en la posición III?  
 (A) 2    (B) 3    (C) 5    (D) nula    (E) Otra de las dibujadas, indicar cuál.

4. Una persona ejerce una fuerza  $F$  sobre un bloque apoyado sobre una superficie horizontal rugosa. Mientras esta fuerza  $F$  está aplicada, el bloque se mueve con velocidad constante. Las flechas en el diagrama indican las direcciones y sentidos, pero no necesariamente las magnitudes de las distintas fuerzas que actúan sobre el bloque. ¿Cuál de las siguientes relaciones entre los módulos de las fuerzas  $P$ ,  $f_r$ ,  $N$  y  $F$  debe ser cierta?

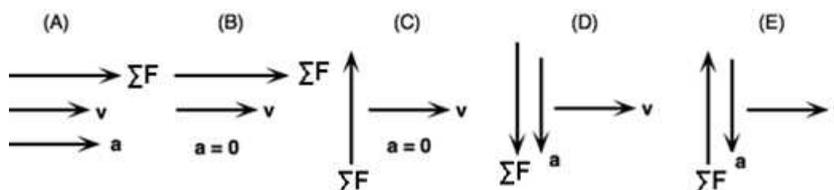


- (A)  $F=f_r$  y  $N=P$     (B)  $F=f_r$  y  $N>P$     (C)  $F>f_r$  y  $N<P$     (D)  $F>f_r$  y  $N=P$   
 E) Ninguna de las anteriores, indicar cuál.

5. Una moneda está apoyada sobre un tocadiscos que rota con velocidad angular de módulo constante como muestra la figura.



¿Cuál de los siguientes conjuntos de vectores representa mejor la velocidad, aceleración y fuerza resultante sobre la moneda en la posición que se muestra en la figura, para un observador situado en un sistema de referencia inercial?



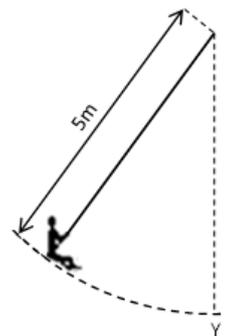
6. Suponga que la moneda del problema anterior tiene una masa de 0,10 kg y que el coeficiente de roce estático entre la superficie del tocadiscos y la moneda es 0,12. Si la moneda está a una distancia de 0,20 m del centro del tocadiscos, ¿cuál es el módulo de la máxima velocidad que puede alcanzar la moneda en su movimiento circular sin que deslice fuera del tocadiscos?

- (A)  $0 < v < 0,5 \text{ m/s}$  (B)  $0,5 < v < 1 \text{ m/s}$  (C)  $1 < v < 1,5 \text{ m/s}$  (D)  $1,5 < v < 2 \text{ m/s}$  (E)  $2 < v < 2,5 \text{ m/s}$

7. En la figura de la derecha el punto Y indica la posición más baja de un niño cuya masa es de 50 kg, mientras se está hamacando, siendo el módulo de la velocidad del niño en ese momento, 5 m/s.

Considerando que  $g = 10 \text{ m/s}^2$  ¿cuál es el módulo de la tensión en la cuerda en dicha posición? Incluir los cálculos realizados para obtener la respuesta.

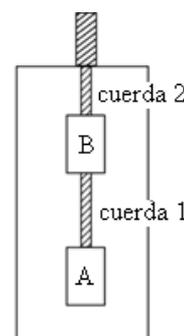
- (A) 250 N (B) 500 N (C) 525 N (D) 750 N  
(E) Ninguno de los anteriores, indicar cuál.



**Las preguntas 8 y 9 se refieren a la situación diagramada en la figura siguiente:** los bloques A y B, cada uno de masa igual a 1 kg, cuelgan del techo de un ascensor mediante las cuerdas 1 y 2. Considerando  $g = 10 \text{ m/s}^2$ , responder:

8. ¿Cuál es el módulo de la fuerza que la cuerda 1 ejerce sobre el bloque A cuando el ascensor viaja hacia arriba con una velocidad de módulo constante igual a 2 m/s?  
(A) 2N (B) 10N (C) 12N (D) 20N (E) 22N
9. ¿Cuál es el módulo de la fuerza que la cuerda 1 ejerce sobre el bloque B cuando el ascensor está quieto?

- (A) 2N (B) 10N (C) 12N (D) 20N (E) 22N



10. Un bloque se desplaza sobre una superficie horizontal sin rozamiento en la dirección y sentido indicados en la figura. Se sabe que una fuerza F constante, que se muestra en el diagrama, está actuando sobre el disco. ¿Cuál de las otras fuerzas dibujadas debe aplicarse para que la fuerza resultante que actúe sobre el disco tenga la dirección del movimiento?



- (A)  $F_1$  (B)  $F_2$  (C)  $F_3$  (D)  $F_4$  (E)  $F_5$

11. Utilice el diagrama de la derecha para responder la siguiente pregunta:

La figura representa una fotografía multiframe de una pequeña pelota que es arrojada verticalmente hacia arriba mediante un mecanismo de resorte. El resorte, con la pelotita en su extremo superior, estaba inicialmente comprimido hasta el punto X y luego fue liberado. La pelotita abandonó al resorte en la posición Y, y alcanzó su altura máxima en la posición Z.

Suponiendo despreciable el rozamiento con el aire, indicar cuál o cuáles de las siguientes afirmaciones es o son verdaderas.

- (A) El módulo de la aceleración de la pelota alcanzó su mayor valor justo antes de que alcanzara la posición Y (cuando todavía estaba en contacto con el resorte)
- (B) El módulo de la aceleración de la pelota fue disminuyendo en su recorrido desde la posición Y hasta la posición Z.
- (C) La aceleración de la pelota en la posición Z fue nula.
- (D) Todas las opciones anteriores son correctas.
- (E) La aceleración de la pelota fue igual en todos los puntos de su recorrido desde Y hasta Z.

