

Dificultades de estudiantes universitarios en una situación de la relatividad clásica

Difficulties of university students in a classical relativity situation

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Rosana Cassan¹, Patricia Sánchez¹ y Elena Llonch¹

¹Grupo 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: cassan@fceia.unr.edu.ar

Resumen

En esta investigación se presenta, en primer lugar, el diseño de una situación problemática en el campo de la relatividad clásica, con el objetivo de diagnosticar e interpretar las vulnerabilidades conceptuales puestas de manifiesto en las representaciones de los estudiantes. A continuación, se desarrolla el análisis de las resoluciones de esa situación, realizadas por 71 estudiantes de primer año de la FCEIA, antes de desarrollar los contenidos en el aula. Para ello se aplicaron técnicas de Análisis de Correspondencias Múltiples y Clasificación automática. Un alto porcentaje de los estudiantes dan cuenta de modelos mentales fragmentados y sesgados, mostrando dificultades en el reconocimiento de la invariancia temporal y de la importancia de identificar el sistema de referencia desde el cual resuelven.

Palabras clave: Relatividad Clásica; Representaciones; Invariancia temporal; Sistema de Referencia.

Abstract

This work presents the design of a problematic situation in the field of classical relativity, with the objective of diagnosing and interpreting the conceptual vulnerabilities revealed by the student representations when they are engaged in problem solving tasks. The solutions were carried out by 71 first-year students of the FCEIA before the conceptual contents were developed in the classroom. The analysis was performed through the application of Multiple Correspondence Analysis and Classification techniques. A high percentage of students revealed fragmented and biased mental models, showing difficulties in recognizing the temporal invariance and the importance of identifying the reference system from which they resolve

Keywords: Classical relativity; Representations; Temporal Invariance; Reference System.

I. INTRODUCCIÓN

La resolución de problemas constituye una actividad fundamental en la mayoría de los cursos de Física en las carreras de Ingeniería y uno de los objetivos básicos en la formación de un ingeniero. Sin embargo, no todos los estudiantes alcanzan el desempeño deseado, evidenciándose una brecha entre los objetivos del aprendizaje y los conocimientos conceptuales, procedimentales y actitudinales que ponen en juego al encarar un problema.

Este trabajo forma parte del proyecto de investigación “El carácter relativo del movimiento en las representaciones de estudiantes de ingeniería”, radicado en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la Universidad Nacional de Rosario, cuya finalidad es explorar la comprensión de los estudiantes de un primer curso de Mecánica, de algunos conceptos básicos sobre la relatividad clásica. Se pretende estudiar las representaciones de los estudiantes en este campo y diagnosticar e interpretar sus vulnerabilidades conceptuales, a través del análisis de las dificultades de comprensión referidas a los llamados invariantes galileanos (Addad, 2012; Ramadas y otros, 1996; Scherry otros, 2002). Para desarrollar la comprensión funcional de los estudiantes, se han elaborado situaciones problemáticas para su trabajo en el aula.

Se presenta aquí, en detalle, una de ellas, acompañada por el análisis de las resoluciones realizadas por 71 estudiantes de primer año de la FCEIA, antes de desarrollar los contenidos en el aula.

Los objetivos para el diseño de la situación se orientaron a detectar las contradicciones en la equivalencia de los observadores –favoreciendo un análisis conceptual de la situación- y a permitir la comparación entre clases de soluciones. Para facilitar el mencionado análisis conceptual, se emplean preguntas de selección múltiple con la correspondiente justificación de las opciones presentadas. Para ello, los estudiantes deben reconocer los elementos relevantes que intervienen y las relaciones entre ellos, elaborando una descripción cualitativa de la situación (Hull y otros, 2013). Esto los lleva, además, a poner en juego sus habilidades argumentativas, dando cuenta del tipo del modelo elaborado.

II. REFERENCIALES TEÓRICOS

A. Desde la Psicología Cognitiva

Desde el punto de vista cognitivo, se asume que los modos de resolución de una situación problemática elaborados por un estudiante brindan información acerca de la representación interna de la 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 MM que sean análogos estructurales de tal fenómeno. Se asume que cuando una persona resuelve un problema, las representaciones externas que realiza (gráficos, palabras, símbolos, diagramas, etc.) permiten caracterizar sus MM (García Madruga, 2006; Sánchez, 2011; Aliberas y otros, 2017; Sesto y García-Rodeja, 2017). Tales modelos resultan 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. La construcción y manipulación de los MM dependen de las limitaciones de la memoria operativa. Por esta razón, con frecuencia, los sujetos realizan inferencias a partir de representaciones incompletas de los enunciados.

En el presente trabajo, en las mencionadas justificaciones que los estudiantes deben elaborar es posible identificar la presencia de los llamados principios heurísticos (Tversky y Kahneman, 1974; Fiedler y von Sydow, 2015) característicos del razonamiento informal, que interviene fuertemente cuando el estudiante debe “explicar” una situación problemática sin recurrir a fórmulas. 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 (Salmon, 1991; Pozo, 1991; Muñoz, A., 2011).

Otro aspecto por considerar a partir del análisis de las justificaciones es la posibilidad de identificar la presencia de sesgos o recortes en el razonamiento. Los *sesgos de confirmación* y de *creencia* (Cortada, 2008; Castro y otros, 2019) son los más habituales en los procesos de razonamiento 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 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. Es decir, los sujetos construyen y ejecutan modelos situacionales que para ellos presentan coherencia, aunque conduzcan a conclusiones inadecuadas desde la Física.

B. Desde la Física

Dado que los conceptos de reposo y de movimiento son relativos al observador, diferentes observadores pueden apreciar diferencias en el estado de movimiento de un mismo cuerpo. Por ello, es condición necesaria indicar dónde se ubica el observador que describe el movimiento del cuerpo; esto es especificar el SR. De aquí que el concepto de SR es básico en cursos en que se estudia el comportamiento de sistemas físicos desde la perspectiva de diferentes observadores (Addad, 2012; 2015), como por ejemplo en los cursos introductorios de Física en carreras de ingeniería. La adopción de un SR apropiado ayuda a la comprensión del fenómeno físico y requiere de una destreza adicional para su selección.

En la enseñanza tradicional de la Mecánica, la mayoría de los problemas que se presentan a los estudiantes son de tipo cuantitativo y consisten en analizar movimientos desde un SR fijo a Tierra como escenario en reposo. Para superar esto, es conveniente encarar la descripción desde un SR en movimiento con velocidad constante respecto de uno fijo a Tierra. De este modo se introduce el principio de relatividad (PR), que implica la equivalencia de todos los observadores al aplicar las leyes físicas correspondientes.

En la Mecánica Clásica o Newtoniana, se asume que el espacio, y por lo tanto su métrica, presenta independencia de los objetos en él inmersos, constancia al transcurrir el tiempo, homogeneidad e isotropía. El tiempo presenta a su vez homogeneidad, anisotropía y simultaneidad absoluta en cuanto a sucesos simultáneos; además se considera como parámetro al ser independiente del estado de movimiento del observador. Las leyes de la Mecánica de Newton se restringen a los llamados Sistemas de Referencia

Inerciales (SRI), en los cuales una partícula libre de interacciones tiene aceleración nula. Detectado uno de ellos, serán SRI equivalentes todos los que se encuentren en reposo o en movimiento rectilíneo y uniforme con respecto a él. Desde todos ellos se cumplen las tres leyes de la Mecánica Clásica, constituyéndose así el llamado PR Clásico (PRC) o de Galileo (Addad, 2012; 2015; Martínez, 2005). En todos los SRI las leyes de la mecánica Newtoniana mantienen la misma estructura del lenguaje matemático formal para su descripción. Esto implica que dos observadores solidarios a SRI diferentes no podrían determinar cuál de ellos se encuentra en reposo y cuál en movimiento; sólo su velocidad relativa tiene un significado objetivo, no existiendo forma alguna de privilegiar un SRI sobre otro.

Las leyes de la física deben ser invariantes bajo traslaciones en el tiempo, siendo válidas en todos los instantes de tiempo: si un científico obtiene cierto resultado en $t = t_1$, otro debería ser capaz de obtener el mismo resultado en $t = t_1 + \Delta t$. Esta simetría se denomina homogeneidad del tiempo. Análogamente, las leyes de la física deben ser invariantes bajo traslaciones en el espacio. Desde la física corresponde al hecho de que no importa el lugar donde se realizan los experimentos y desde la matemática significa que no existe un punto especial en el espacio y que es posible elegir el origen del SR en cualquier punto. Esta simetría se llama homogeneidad del espacio. Si dos observadores observan el mismo suceso, cada uno desde su propio SR, tienen que poder relacionar sus resultados. Esta relación entre los resultados de diferentes observadores es también una transformación (cambio de coordenadas), de igual importancia que las rotaciones y las traslaciones en el tiempo y el espacio.

III. METODOLOGÍA

Se analizaron las resoluciones de la situación problemática que se presenta en la figura 1, de 71 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 correspondían a dos comisiones distintas, con diferentes horarios y docentes a cargo, cursando además distintas especialidades de las carreras de ingeniería. Al momento de la resolución de la situación los estudiantes habían desarrollado los contenidos de cinemática de la partícula, resuelto algunos problemas en clase y dedicado parte de otra clase al tema SR inerciales y no inerciales, dando algunos ejemplos, pero sin resolver situaciones desde SR en movimiento respecto a Tierra.

El instrumento fue diseñado para que los estudiantes construyan su modelo situacional integrando el texto con el esquema, reconociendo los elementos relevantes del sistema y el estado de movimiento o reposo con respecto a distintos SR. Se pretende indagar acerca del reconocimiento del carácter absoluto del tiempo empleado en cada movimiento y el carácter relativo de la distancia recorrida respecto al SR.

En una cinta de transporte en movimiento uniforme, se encuentra un pasajero con su equipaje. Al ver que una de sus maletas se encuentra separada de las demás, el hombre camina hacia ella, la toma y regresa con el fin de juntarla con el resto de su equipaje. Durante su desplazamiento, el hombre se mueve con velocidad de módulo v constante, tanto a la ida como a la vuelta. Analiza las siguientes afirmaciones, y justifica tu acuerdo o no con ellas:

- a- El hombre tarda menos tiempo en su regreso al traer la maleta que cuando va a buscarla,*
- b- El hombre tarda más tiempo en su regreso al traer la maleta que cuando va a buscarla,*
- c- El hombre camina una menor distancia cuando va en búsqueda de su maleta, que cuando vuelve con ella,*
- d- El hombre camina una mayor distancia cuando va en búsqueda de su maleta, que cuando vuelve con ella.*

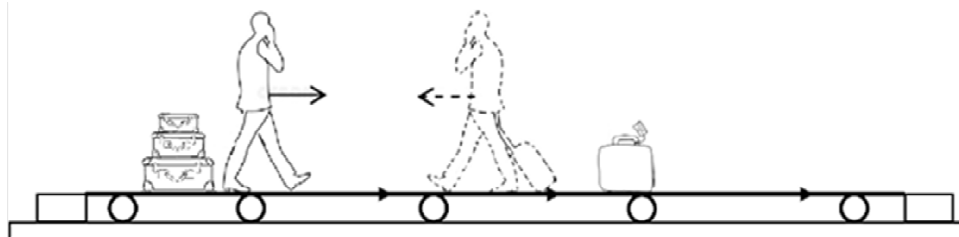


FIGURA 1. Situación problemática correspondiente al instrumento aplicado.

En la tabla siguiente se explicitan las intenciones que subyacen en cada tramo del enunciado de la situación problemática.

TABLA I: Análisis del enunciado de la situación problemática.

Parte del enunciado	Intención
“En una cinta de transporte en movimiento uniforme,	⇒ - integrar el texto con el dibujo - remitir a un SRI móvil
“... se encuentra un pasajero con su equipaje	⇒ - reconocer elementos del sistema en estado de reposo relativo respecto al SRI móvil
“... Al ver que una de sus maletas se encuentra separada de las demás, el hombre camina hacia ella, la toma y regresa con el fin de juntarla con el resto de su equipaje. Durante su desplazamiento, el hombre se mueve con velocidad de módulo v constante, tanto a la ida como a la vuelta...”	⇒ - integrar el texto con el dibujo - incorporar un nuevo elemento al sistema de estudio: maleta. - necesidad de establecer un origen para medir desplazamiento (por ejemplo: equipaje) - reconocer el cambio en el estado de movimiento del hombre. - reconocer las etapas de su movimiento con el correspondiente cambio en el sentido de la velocidad
Analiza las siguientes cuestiones, y <u>justifica tu acuerdo o no con ellas:</u> a-El hombre tarda menos tiempo en su regreso al traer la maleta que cuando va a buscarla, b-El hombre tarda más tiempo en su regreso al traer la maleta que cuando va a buscarla,	⇒ - integrar el texto con el dibujo - reconocer la invariancia del tiempo por tratarse del mismo experimento, en ambos sentidos respecto a la misma cinta de transporte.
c-El hombre camina una menor distancia cuando va en búsqueda de su maleta, que cuando vuelve con ella, d-El hombre camina una mayor distancia cuando va en búsqueda de su maleta, que cuando vuelve con ella.	⇒ - integrar el texto con el dibujo - reconocer que del enunciado se desprende que las distancias recorridas, tanto al ir en busca de la maleta como al volver con ella al punto inicial, son iguales para el hombre que camina sobre la cinta. - reconocer que el módulo del desplazamiento (la distancia recorrida) no es un invariante al analizar el resultado obtenido por un observador fijo a Tierra.

Los protocolos de resolución fueron estudiados en una primera etapa con la finalidad de determinar las variables de análisis para su posterior estudio mediante técnicas de análisis factorial. En una segunda etapa las respuestas de los estudiantes fueron analizadas en profundidad y en forma independiente por las autoras de este trabajo, desde el marco teórico presentado. Se compararon los resultados de los análisis, se discutieron algunas diferencias y se buscaron consensos. A partir de esto se definieron las modalidades de cada variable, mutuamente excluyentes, indicadas en la Tabla II.

TABLA II: Variables de análisis y sus correspondientes modalidades.

VARIABLES	MODALIDADES
Relación entre los tiempos de ida y regreso	-t ida = t vuelta -tiempo ida mayor -tiempo ida menor
Justificación de la relación entre los tiempos	-En función de las velocidades (just t vel) -En función de la distancia (just t dis) -En función de la fuerza de roce (just t roce) -No justifica (just t no) -En función de la distancia y velocidad (just t di y vel) -Justificación confusa (just t confuso)
Relación entre la distancia de ida y regreso	-Las distancias son iguales (dist iguales) -La distancia de ida es mayor (dist ida mayor) -La distancia de ida es menor (dist ida menor) -No responde (dist no responde)
Justificación de la relación entre la distancia de ida y regreso	-En función de las velocidades (just dis vel) -En función de la distancia (just dis solo dist) -En función de la fuerza de roce (just dis roce) -No justifica (just dis NR) -En función de la distancia y velocidad (just dis vel y dist) -Justificación confusa (just dis confuso)
Sistema de referencia utilizado al resolver	-SR explícito en Tierra (SR exp T) -SR explícito en la cinta (SR exp cinta) -SR implícito en Tierra (SR impl T) -SR implícito en la cinta (SR impl cinta) -SR confuso

Las modalidades individualizadas en las respuestas de los estudiantes correspondientes a las justificaciones de las relaciones entre los tiempos y las distancias son las mismas. Algunos justifican sus respuestas haciendo referencia a las velocidades de la persona y de la cinta; otros lo hacen solo en función de la distancia recorrida; otros lo fundamentan desde la dinámica, mencionando fuerzas como la de roce, o teniendo en cuenta tanto la velocidad como la distancia recorrida. Finalmente, algunos no justifican y otros lo hacen de manera confusa.

Para hallar la posible relación entre variables se aplicó el Análisis Factorial de Correspondencias Múltiples (ACM) mediante el programa estadístico SPAD 5.6. La interpretación de los gráficos factoriales permite expresar:

- La proximidad entre modalidades de variables diferentes en términos de asociación: la proximidad se debe a que están referidas a individuos parecidos.
- La proximidad entre dos modalidades de una misma variable en términos de semejanza: teniendo en cuenta que las modalidades de una misma variable deben ser excluyentes, la proximidad de dos de ellas se interpreta en términos de semejanza entre los grupos de individuos que las eligieron.
- La proximidad entre individuos en términos de semejanzas: dos individuos se parecen si asumen las mismas modalidades de las variables. Es decir, en el gráfico correspondiente a los individuos en el espacio de las variables, la cercanía de dos individuos implica que comparten las mismas modalidades de la mayoría de las variables.

A partir del ACM, utilizando el mismo programa estadístico, se aplicó luego una técnica de clasificación mixta, a través de la cual los individuos se agrupan en clases mutuamente diferenciadas optimizando la homogeneidad intracase (Lebart y otros, 1985). 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).

IV. RESULTADOS Y COMENTARIOS

El gráfico factorial correspondiente al ACM obtenido se muestra en la figura 2.

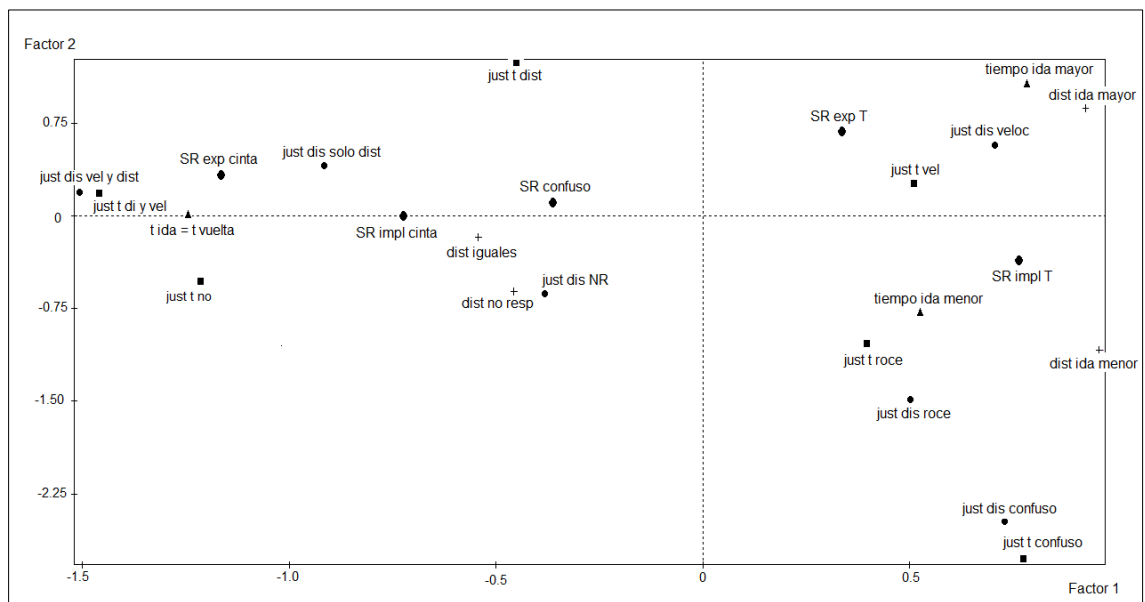


FIGURA 2. Distribución de las modalidades de las variables

Como puede observarse, en el extremo izquierdo del eje factorial 1, la cercanía de las modalidades: justificación de la relación entre las distancias de ida y vuelta en función de las velocidades y distancias recorridas (*just. dis.vel y dist*), la justificación de la relación entre los tiempos de ida y vuelta en función de las velocidades y distancias recorridas (*just. t.di y vel*), junto a tiempos iguales de ida y vuelta (*t ida = t vuelta*) y selección de un sistema de referencia explícito en la cinta (*SR expl. cinta*), dan cuenta de un modelo coherente de la situación descrita en el enunciado que permite detectar la invariancia del tiempo.

En oposición, en el extremo derecho del eje factorial 1 se observa la cercanía de las modalidades *distancia de ida mayor (dist ida mayor)*, y *distancia ida menor (dist ida menor)*, *tiempo de ida mayor (tiempo ida mayor)*, dando cuenta de modelos sesgados de la situación. Se observa, además, en las cercanías, la selección de un *sistema de referencia implícito en Tierra (SR impl T)*.

A partir de este análisis, el eje factorial 1, que acumula la máxima inercia, puede interpretarse como aquél que da cuenta del tipo de justificación oponiendo justificaciones completas en función de las velocidades relativas y la distancia recorrida en su extremo izquierdo con *justificaciones confusas (just confuso)* y *(just t confuso)*, en el extremo opuesto. Es importante destacar que la cercanía al extremo izquierdo de la modalidad *justificación del tiempo ausente (just t no)*, corresponde a estudiantes que respondieron correctamente que los tiempos y distancias son iguales a la ida y a la vuelta, manifestando que las respuestas eran obvias.

En cuanto a la clasificación de los individuos por afinidades, con el programa se obtienen 4 clases como se muestra en la figura 3, cada una de las cuales se compone por un conjunto de individuos, identificados por las modalidades de las variables más representativas que los caracterizan. En el recuadro inferior se indica el número de integrantes de cada clase, correspondiendo el 28% a la Clase 1, el 41% a la Clase 2, el 5% a la Clase 3 y el 26% a la Clase 4. Los integrantes de cada grupo se identifican con el número correspondiente a la clase. El símbolo (•) representa el valor medio de la clase y los trazos que parten del mismo indican a los sujetos que pueden ser considerados como más representativos de la clase.

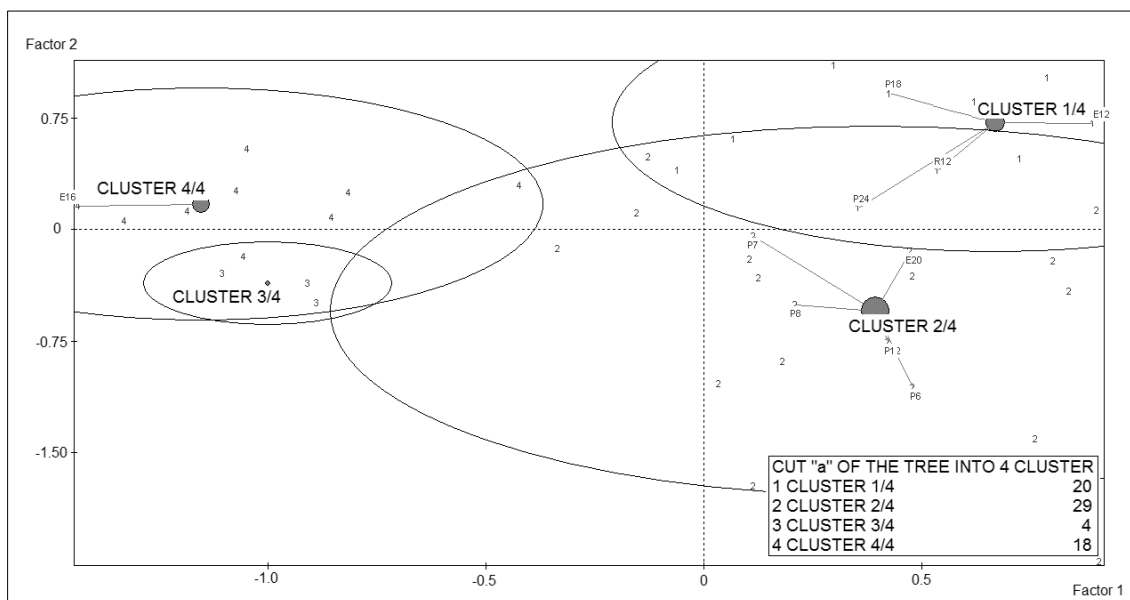


FIGURA 3. Clasificación de los individuos por afinidades.

A continuación, se detalla una caracterización de cada clase con las modalidades de las variables que más pesan en su conformación en función de los valores test.

Clase 1: Corresponde al 28% de la muestra, y agrupa a estudiantes que se caracterizan por considerar que *el tiempo de ida es mayor que el de vuelta* (valor test = 6,35), justificando esta respuesta solo en función de las *velocidades relativas entre el hombre y la cinta* con las valijas solidarias a ella (valor test = 3,06). Simultáneamente sostienen que también es *mayor la distancia de ida*, cuando el hombre sale en busca de la maleta olvidada (valor test = 6,63), justificando tal respuesta también solo en función de las *velocidades relativas* (valor test = 5,84). Puede inferirse que sus justificaciones se asocian con la percepción de ponerse en el lugar del hombre observando como la cinta “mueve a las valijas”, sin considerar que el hombre también se está moviendo sobre ella: “... cuando vuelve a juntar todas las maletas, las que estaban juntas se acercan a él por estar en la cinta y entonces recorre menos distancia para alcanzarlas” (estudiante R 10).

Clase 2: Corresponde al 41% de la muestra, agrupando a estudiantes que se caracterizan por considerar, en contraposición a los individuos de la Clase 1, que *el tiempo de ida es menor que el de regreso* (valor test = 7,08), considerando algunos que la *distancia de ida es menor que la de regreso* (valor test = 3,04). Si bien no explicitan dónde ubican el SR, de sus respuestas se infiere que, para alguno de los elementos del sistema, resuelven desde un *SR fijo a Tierra* (valor test = 3,65). Otra característica de esta clase es que *justifican a partir de conceptos dinámicos* (valor test = 2,36) nombrando la fuerza de rozamiento o el esfuerzo que significa caminar en sentido contrario al de la cinta.

Como en la clase anterior, aquí también sus justificaciones tienen mucho que ver con la percepción de ponerse en el lugar del hombre, pero en este caso focalizan su análisis en el movimiento de éste sobre la cinta, sin considerar que las maletas también se mueven sobre ella.

...el hombre tiene que hacer un esfuerzo extra para contrarrestar la velocidad que tiene la cinta.[...] al restar los vectores de las velocidades la velocidad del movimiento del hombre será menor y en el caso de ir a buscarla, las velocidades se sumarán ya que tienen el mismo sentido [...] recorre la misma distancia en ambas partes, pero, su esfuerzo será menor y la cantidad de pasos (si en ambas hace los pasos a igual medida) será menor ya que es ayudado por la cinta.(R21)

Clase 3: Corresponde al 5% de los estudiantes y su característica es que no justifican las relaciones entre tiempos (valor test = 4,75) ni distancias (valor test = 3,29). Todos responden que los tiempos y las distancias son iguales al ir y al regresar, pero no justifican esa afirmación, considerando obvias sus respuestas. “...tardará el mismo tiempo cuando va a buscar la maleta que en su regreso con la misma y la distancia que recorrerá será igual” (R14).

Clase 4: Corresponde al 26% de la muestra estudiada. Estos estudiantes consideran iguales *tiempos de ida y de regreso* al caminar sobre la cinta (valor test = 6,83), desarrollando *justificaciones* de tiempos y distancias a partir de las *velocidades relativas entre el hombre y la cinta* (valor test = 5,89 y 5,15 respectivamente). Explicitan que resuelven desde un *SR ubicado sobre la cinta* (valor test = 4,25) y que, desde este sistema, las *distancias recorridas son iguales* (valor test = 4,19).

Supongamos que la maleta está a una distancia de 10 metros (referencia la cinta), el hombre va a una velocidad constante, por lo tanto, el tiempo es el mismo en la ida y en el regreso ya que no hubo variación en la distancia. (R9)

Los estudiantes de las Clases 1 y 2, correspondientes al 69% de la muestra, dan cuenta de modelos mentales fragmentados, en los cuales no logran modelizar la situación tal como la describe el enunciado, con el hombre y las maletas ubicados sobre la cinta, como se explicita en el primer párrafo del enunciado. Algunos estudiantes dicen que la velocidad de la cinta modifica la velocidad del hombre, pero resuelven como si las maletas estuviesen en reposo con respecto a Tierra. Otros estudiantes dicen que la cinta acerca o aleja las maletas al hombre, como si el hombre caminara sobre el piso paralelamente a la cinta, tal vez interpretando sesgadamente el enunciado del problema dándole mayor importancia al esquema que al texto. Algunas justificaciones dan cuenta de la presencia de un *sesgo de confirmación*, al recortar la información considerada de modo de tener en cuenta solamente la que apoya su “lectura” del enunciado textual y gráfico. En otras explicaciones se identifica un *sesgo de creencia*, al interpretar la información disponible según la credibilidad de la conclusión a la que se arriba. Es decir, estos sujetos construyen y ejecutan modelos situacionales que para ellos presentan coherencia, aunque conduzcan a conclusiones disciplinares inadecuadas. Estos sesgos funcionan como facilitadores, ya que les permite continuar con la resolución.

El 31% responde adecuadamente, aunque el 5% (Clase 3) no justifica. Dan cuenta de MM adecuados, integrando el texto del enunciado con el dibujo, que les permite situarse en SR que facilitan la resolución de la situación. Uno de los estudiantes de la Clase 4 (E16) luego de responder correctamente agrega a modo de aclaración: “*Su posición inicial (del hombre) va a ser diferente a la final con respecto a alguien que lo mira desde debajo de la cinta, pero con respecto a la cinta su posición inicial va a ser igual a la final*”.

Teniendo en cuenta que los temas correspondientes a Mecánica Relativa no se habían desarrollado al momento de la aplicación del instrumento, las dificultades de los estudiantes que evidencian los resultados de esta investigación indican que es necesario reforzar el estudio del concepto de SR con actividades tanto conceptuales como procedimentales, introduciendo en las clases prácticas diferentes situaciones problemáticas en las que deban compararse observaciones desde SR en movimiento relativo.

Por otro lado, si bien cuando se comienza el estudio de la Mecánica Clásica se presenta el tiempo como una magnitud de carácter absoluto e independiente del sistema de referencia, las respuestas de los estudiantes muestran que es necesario reforzar esta característica a través de su explicitación y tratamiento en la resolución de problemas.

Es importante destacar además que, considerando que el inicio de la comprensión de una situación problemática depende en gran medida de la forma en que se presenta el enunciado -textual, textual con gráficas, diagramas o dibujos representando situaciones reales o imaginarias- recomendamos especial atención al momento de diseñar enunciados de problemas para presentar a los estudiantes. Comprender un enunciado es pensar en la situación, los datos relevantes, las incógnitas o metas y las estrategias a aplicar, elementos a considerar en esa instancia.

REFERENCIAS

- Addad, R. (2012). Relatividad Clásica: dificultades de comprensión en el estudio del movimiento. *Memorias XI Simposio de Investigación en Educación en Física*, Esquel, Chubut, Argentina.
- Addad, R. (2015). Relatividad Clásica: conceptos básicos. *Revista de Enseñanza de la Física*, Córdoba, 27(Extra),653-659.
- Aliberas, J., Gutiérrez, R. e Izquierdo, M. (2017). Introducción a un método para la conducción y análisis de diálogos didácticos basado en la evaluación de modelos mentales. *Enseñanza de las ciencias*, 35(2), 7-28.
- Castro, A. Hernández, Z., Riquelme, E., Ossa, C., Aedo, J., Da Costa, S. y Páez, D. (2019). Nivel de sesgos cognitivos de representatividad y confirmación en estudiantes de Psicología de tres universidades del BíoBío. *Propósitos y Representaciones*, 7(2),210-239. Doi: <http://dx.doi.org/10.20511/pyr2019.v7n2.245>
- Cortada, N. (2008). Los sesgos cognitivos en la toma de decisiones. *International Journal of Psychological Research*, 1(1),68-73. Doi: <https://doi.org/10.21500/20112084.968>.
- 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*, UK: Sage.
- García Madruga, J.A. (2006). *Lectura y conocimiento*. Barcelona: Paidós y UNED.
- 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.
- Johnson-Laird, P.N. (1983). *Mental models*. Cambridge, MA, Harvard University Press.
- Lebart, L., Morineau, A. y Fenelon, J. (1985). *Tratamiento estadístico de datos*, Barcelona: Marcombo.
- Martinez, A. (2005). Conventions and inertial reference frames, *American Journal of Physics*, 73(5),452-454.
- Muñoz, A. (2011). *La Influencia de los Sesgos Cognitivos en la Toma de Decisiones*. http://www.indret.com/pdf/820_es.pdf. Sitio consultado en junio de 2019.
- Pozo, J. (1991). Las ideas de los alumnos sobre ciencia: una interpretación desde la psicología cognitiva. *Enseñanza de las Ciencias*, 9(1),83-94.
- Ramadas, J., Barve, S. y Kumar, A. (1996). Alternative conceptions in Galilean relativity: inertial and non-inertial observers. *International Journal of Science Education*, 18(5),615-629.
- 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. (2011). *Las representaciones mentales en la resolución de problemas de mecánica clásica*. Tesis de Doctorado. Facultad de Psicología, UNED, Madrid.
- Scherr, R.; Shaffer, P. y Vokos, S. (2002). The challenge of changing deeply held student beliefs about the relativity of simultaneity. *American Journal of Physics*, 70(12),1238-1248.
- Sesto, V., García-Rodeja, I. (2017). Estudio sobre la evolución de los modelos mentales de estudiantes de 4º de ESO cuando observan, reflexionan y discuten sobre la combustión. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 14(3),521-534.
- Tversky, A. y Kahneman, D.(1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. *Science, New Series*, 185(4157).1124-1131