

# Efectos percibidos y sistemas de referencia: un estudio con estudiantes universitarios

Perceived effects and frames of reference: a study with university students

María Gabriela Moscato<sup>1\*</sup>, Rosana Cassan<sup>1</sup>, Alejandra Rosolio<sup>1</sup>, Elena Llonch<sup>1</sup>, Ricardo Addad<sup>1</sup>

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

\*E-mail: [moscato@fceia.unr.edu.ar](mailto:moscato@fceia.unr.edu.ar)

## Resumen

Se analizaron, con un enfoque cuali-cuantitativo, las actuaciones de 62 estudiantes de primer año de las carreras de Ingeniería al resolver una situación problemática, a fin de inferir el sistema de referencia desde el que se realiza la observación mediante el análisis de las interacciones relacionadas al efecto percibido. Las resoluciones se interpretaron para obtener información de las representaciones internas que las sustentan; las mismas ponen de manifiesto las ideas y recursos cognitivos de los estudiantes al enfrentarse a una situación problemática. Los resultados del análisis muestran que un número considerable de estudiantes explicitan el sistema de referencia desde el cual resuelven con respuestas correctas pero incompletas que evidencian la aplicación de principios heurísticos. Asimismo, se observa que la incorporación de la situación problemática formulada en modo diferente de los que aparecen tradicionalmente en los libros de texto o prácticas de aula, mostró ser un recurso didáctico que permite a los estudiantes extender su forma de abordar la resolución.

**Palabras clave:** Mecánica Clásica; Efectos percibidos; Sistemas de referencia; Heurísticos.

## Abstract

The actions of 62 first-year Engineering students when solving a problematic situation were analyzed with a qualitative-quantitative approach. This problematic situation was designed in order to infer the frame of reference from which the observation is made by analyzing the interactions related to the perceived effect. The resolutions were interpreted to obtain information from the internal representations that support them. They reveal the ideas and cognitive resources of students when facing a problematic situation. The results of the analysis show that a considerable number of students make the frame of reference from which they solve explicit. The student's answers were correct but incomplete as they show the application of heuristic principles. Likewise, it is observed that the incorporation of the problematic situation formulated in a different way from those that traditionally appear in textbooks or classroom practices proved to be a didactic resource that allows students to extend their way of approaching the resolution.

**Keywords:** Classical Mechanics; Perceived effects; Frames of reference; Heuristics.

## I. INTRODUCCIÓN

La resolución de problemas es una actividad fundamental en la mayoría de los cursos de física en las carreras de Ingeniería, siendo su objetivo que los estudiantes alcancen un desempeño cercano a las metas de aprendizaje planteadas. A través de esta actividad se busca aportar al desarrollo de competencias asociadas a la labor de un ingeniero, mediante la comprensión funcional (conceptual y procedimental) de los problemas que se encaran y la elaboración del modelo situacional correspondiente a cada uno de ellos.

Este trabajo se realizó en el marco del proyecto de investigación “Análisis dinámico de sistemas físicos desde marcos de referencia inerciales y no inerciales. Las representaciones de estudiantes universitarios”, de la Secretaría de Ciencia y Técnica de la Universidad Nacional de Rosario (UNR), radicado en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura (FCEIA) de la UNR, cuya finalidad es investigar acerca de las representaciones internas que construyen los estudiantes al resolver situaciones problemáticas asociadas a la dinámica cuando las observaciones se realizan desde diferentes sistemas de referencia (SR).

A partir de las representaciones de los estudiantes y de la interpretación de las vulnerabilidades conceptuales detectadas en trabajos anteriores (Addad, 2012), se aplicó un instrumento áulico en el que se presenta un sistema físico en un estado mecánico de equilibrio, y se solicita a los estudiantes que, a partir del análisis de las interacciones presentes relacionadas a los efectos percibidos, infieran el marco o SR adoptado y su movimiento relativo.

## II. REFERENCIALES TEÓRICOS

### A. La causalidad en física

La causalidad determinista newtoniana es una consideración profunda que surge como esencia de la teoría del movimiento de Newton al examinar sus definiciones y leyes respecto al significado dado a las interacciones y las fuerzas como causa del cambio en el marco del espacio euclidiano y el tiempo absolutos.

Es precisamente este marco el que proporciona el SR y la cuantificación de los cambios mencionados, o efectos percibidos por el observador, generados en el proceso de interacción con el medio ambiente (MA). El aprendizaje de estos conceptos centrales de la teoría presenta para los estudiantes dificultades de comprensión que es necesario abordar (Bowden, 1992; Pietrocola y Zylbersztajn, 1999; Ramadas, Barve y Kumar, 1996; Addad y Rosolio, 2019).

En su interacción con el MA, el sistema bajo estudio evoluciona a través de un pasaje por diferentes estados mecánicos, definido como proceso, que muestra el cambio (o ausencia del mismo) en los valores asumidos por algunas variables de estado, como efectos percibidos por el observador. Analizando el principio de inercia de Galileo puede observarse que básicamente este establece que en ausencia de interacciones el estado de movimiento de un cuerpo no cambia.

Recordando que el estado de un sistema mecánico está definido por los valores que asumen las variables de estado, vemos que en ausencia de interacciones (o cuando la fuerza resultante es nula), el sistema permanece en equilibrio, y su movimiento solo estará determinado por las llamadas condiciones iniciales, de modo que su posición puede variar manteniéndose las otras variables sin cambio. Este principio permite la identificación de un marco de observación o SR llamado inercial (SRI). Desde este marco, el movimiento uniforme a velocidad constante (cero o distinta de cero) no tiene causa, su condición inicial es razón suficiente. En este contexto podemos pensar a la inercia como la tendencia de un cuerpo material a mantener su estado de movimiento (o de reposo), y resistir cambios en el mismo.

Los estados de reposo y de movimiento uniforme son completamente equivalentes en los SRI: ellos proporcionan una descripción intercambiable de equilibrio, siendo un elemento indispensable en la descripción la velocidad relativa entre ellos. Este hecho está integrado en el llamado principio galileano de relatividad, que establece que las leyes de la física permanecen invariantes bajo una transformación de un SRI a otro.

Newton incorpora como pilar fundamental de su teoría el principio de inercia de Galileo como su primera ley de la mecánica. Lo que está implícito en esta declaración, y que es a menudo ignorado, es el hecho de que ella proporciona los medios para identificar un SRI. La equivalencia completa del estado mecánico de “reposo” y de “cantidad de movimiento constante” es intrínseca a esta ley.

Ahora bien, ¿qué es lo que requiere una causa?: no es el equilibrio en sí mismo, sino más bien es una desviación del equilibrio la que justifica una causa. ¿Cuál es la causa responsable cuando ocurre una desviación del estado de equilibrio de un objeto? La respuesta exige integrar física con matemática.

Newton abordó este tema de manera integral al inferir que la desviación del equilibrio en el estado de movimiento de un objeto se debe al estímulo de un agente externo que interactúa con ese objeto. Este estímulo se denomina fuerza y es el concepto físico central en la segunda ley de Newton, que establece que un objeto responde a la fuerza externa resultante a través de un cambio en su cantidad de movimiento durante el tiempo que dura la interacción.

Newton utiliza las razones de cambio temporales como lenguaje matemático y relaciona las interacciones y las variables relevantes utilizadas para su descripción. De esta forma, los conceptos y relaciones que conforman la teoría de la mecánica relativa dentro de los parámetros clásicos, contribuyen a desarrollar criterios de selección de SR para simplificar matemáticamente la descripción de movimientos y su consiguiente explicación.

Por último, la tercera ley facilita la adecuada identificación de las fuerzas actuantes sobre un cuerpo, individualizando al agente del medio ambiente que ejerce cada una de ellas (Rosolio, Sánchez, Llonch y Cassan, 2015).

En los cursos de física es común promover ideas de múltiples representaciones de la realidad física en SR diferentes las cuales están relacionadas con principios de invariancia, mostrando que una relación particular no es un mero accidente de alguna posición preferencial de un observador, sino que es un efecto de alguna simetría presente en la naturaleza, traducida matemáticamente a través de grupos de transformaciones (Addad y Rosolio, 2019).

Por todo lo anterior, el SR es uno de los conceptos básicos a enseñar en los cursos que describen el comportamiento físico de los sistemas, considerando la perspectiva de diferentes observadores. La elección del mismo requiere una destreza adicional, puesto que es deseable seleccionar un SR apropiado que ayude a la comprensión del fenómeno físico y facilite la solución del problema.

El hecho que todos los SRI son equivalentes implica que dos observadores solidarios a SRI diferentes solo pueden determinar la velocidad relativa entre ellos, siendo ella la única que tiene un significado objetivo. Cabe aclarar que la aceleración intrínseca del SR sí puede ser determinada mediante mediciones efectuadas respecto al SR en sí mismo. Esta limitación conduce a dificultades inherentes a estas leyes al observar la naturaleza circundante y tratar de explicar ciertos efectos percibidos. Estos obstáculos se evidencian al tratar de responder la pregunta: *¿podemos encontrar algún SRI en el Universo?*. Las respuestas se encuentran en la esencia de la teoría de la Relatividad General, y pueden ser utilizadas como disparador para la extensión de los conceptos físicos involucrados en su enseñanza (Addad, 2015).

## B. Las interacciones y los efectos percibidos

La identificación de las fuerzas como elemento causal central y su relación con los efectos percibidos puede constituir una metodología para diferenciar e inferir cuál es el SR adoptado para el estudio del sistema físico en cuestión.

En los cursos de mecánica, al usar la palabra fuerza solo se considera ese aspecto de una interacción que hace que la velocidad de una partícula, y por ende su estado mecánico, cambien. En la interpretación que hace la mecánica clásica sin incluir los campos, cada interacción siempre da lugar a un par de fuerzas que poseen un conjunto notable de propiedades, hecho debido a la naturaleza recíproca de toda interacción. Por lo expresado, la comprensión adecuada del concepto de fuerzas en Física implica el reconocimiento de las mismas como resultado de interacciones (Jiménez-Valladares, J. & Perales-Palacios, F., 2001; Hellingman, 1992; Rosolio y otros, 2015). Con el objetivo de lograr un aprendizaje significativo de este concepto es necesario orientar a los estudiantes a pensar primero en las interacciones entre los objetos, enfatizando la característica de las mismas como una vía de doble sentido.

Los diagramas de cuerpo libre (DCL) como representación gráfica de las fuerzas que los distintos cuerpos del medio ambiente ejercen sobre un cuerpo determinado (sistema en estudio) son de uso habitual en los procesos de enseñanza-aprendizaje de la Mecánica. Una vez construido el DCL es necesario, para su análisis y verificación, considerar las condiciones iniciales del movimiento e incorporar la segunda Ley de Newton primariamente en su forma cualitativa (relación causa-efecto). Esto permitirá la verificación del DCL y evitará introducir fuerzas que no provengan de interacciones (Addad, Llonch, Rosolio, Cassan, 2017).

A menudo, en la resolución de problemas de mecánica, resulta cómodo seleccionar un observador solidario a un sistema de referencia no inercial (SRni). En estos SRni (rotantes, acelerados traslacionalmente, rotacionalmente o cursando movimientos más complejos respecto a un SRI) el estudio dinámico exige un enfoque diferente, ya que algunos efectos percibidos (estados de equilibrio, de no equilibrio, o procesos) no encuentran sustento al analizar las fuerzas actuantes. A partir de la observación de estos efectos es posible inferir el movimiento relativo y seleccionar el SR desde el cual se observa el fenómeno. Como metodología de enseñanza es común en esta selección introducir en la descripción las denominadas fuerzas de inercia (ficticias o seudofuerzas), al tratar de buscar “una causa a efectos percibidos” que no pueden asociarse a una interacción en el marco newtoniano (Addad y Rosolio, 2019).

En lo expresado se encuentran la base de este trabajo y la metodología adoptada: dada la observación de un estado mecánico de equilibrio o de un proceso, mediante el análisis de las interacciones presentes relacionadas al efecto percibido es posible inferir el marco o SR adoptado y su movimiento relativo, pudiendo clasificar su carácter (inercial o no inercial) dando claridad a uno de los límites de validez del marco teórico Newtoniano.

## C. Desde la psicología cognitiva

En el marco de la psicología cognitiva, se considera que las descripciones y explicaciones elaboradas por los estudiantes en las tareas de resolución de problemas dan información acerca de la representación interna que ellos hacen de la situación problemática al construir el modelo. Se considera a los modelos mentales (MM) desarrollados por Johnson-Laird (1983) como formato de las representaciones internas de la información. Desde este enfoque, la comprensión de un fenómeno físico implica la construcción de MM que sean análogos estructurales de tal fenómeno. Las representaciones externas (gráficos, textos, diagramas, etc.) que elaboran las personas cuando resuelven un problema dan cuenta de sus MM (García Madruga, 2006; Sánchez, 2011; Aliberas, Gutiérrez e Izquierdo, 2017; Sesto y García-Rodeja, 2017). Dichos modelos surgen de la interacción entre la información provista en el enunciado y los

conocimientos, científicos y cotidianos, activados en la memoria a largo plazo de quien resuelve. La construcción y evolución de los MM están condicionados por las limitaciones de la memoria operativa. Debido a esto, los estudiantes a menudo realizan inferencias a partir de representaciones incompletas de los enunciados.

En la resolución de problemas, es posible 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*, que se refiere a la tendencia del sujeto que resuelve a considerar solamente cierta información, y el heurístico de *representatividad*, generalmente asociado a la consideración de información superficial para la tarea (Salmon, 1991; Pozo, 1991; Muñoz, A., 2011). Cuando estos principios se aplican a información relevante, pueden llevar a la solución correcta. Además, suelen aparecer los llamados sesgos cognitivos o recortes en el razonamiento (Perkins, Farady y Bushey, 1991), que causan interferencias en el proceso de resolución, siendo los más habituales los sesgos de *confirmación*, de *creencia* y *facilitador o de economía cognitiva* (Cortada, 2008; Castro y otros, 2019). 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. Finalmente, el *sesgo facilitador* ocurre cuando el estudiante ignora o justifica inconsistencias. En algunas oportunidades, los sujetos construyen y ejecutan modelos situacionales que para ellos presentan coherencia, aunque conduzcan a conclusiones inadecuadas desde la Física.

### III. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

Se trabajó a partir de las producciones de 62 estudiantes de la asignatura Física I, correspondiente al 2.º semestre de cursado de las carreras de ingeniería (Civil, Industrial, Mecánica, Electrónica, Eléctrica y Agrimensura) de la FCEIA, UNR. Estos estudiantes ya habían sido evaluados en los temas cinemática y dinámica de la partícula, y habían asistido a clases teóricas y prácticas de cinemática de la partícula, analizando diferentes sistemas físicos desde distintos marcos de referencia, tanto inerciales como no inerciales.

En el contexto de un trabajo práctico presencial e individual sobre el tema Mecánica Relativa, se presentó a los estudiantes una situación problemática que admite varias soluciones. El enunciado de la misma integraba texto con una figura ilustrativa, e indicaba la posición de un cuerpo colgado de un hilo, solicitando el análisis de dicha situación y la identificación de las fuerzas actuantes.

El instrumento fue diseñado con el propósito de analizar si los estudiantes deducen, a partir del estado de equilibrio de la esfera observado por el sujeto y del análisis de las interacciones presentes relacionadas con dicho estado, que la observación se está realizando desde un SRnI.

El enunciado de la situación problemática es el siguiente:

*Una persona coloca un péndulo sobre una mesa, por ejemplo, una esfera suspendida de un hilo. Al hacerlo, observa que este péndulo no toma la dirección de la vertical, sino que se desvía de la misma un ángulo  $\alpha$  constante. ¿Puedes explicar dinámicamente lo observado por la persona? De ser así, indica la causa por la cual sucede dicha desviación. Incluye el DCL de la esfera que complete tu explicación, indicando pares de acción y reacción.*

*Utiliza los conceptos trabajados en clase que consideres relevantes para el análisis con la justificación física correspondiente.*



La situación problemática diseñada está construida en forma inversa a la mayoría de las que se encuentran en libros y prácticas tradicionales, en las cuales se enuncia la causa y se solicita determinar el estado de movimiento. En este caso, a partir de la información dada en el enunciado, se deben identificar las interacciones presentes y luego analizar su relación con el estado mecánico del sistema bajo estudio.

Los estudiantes deben construir su modelo situacional inicial (Perkins y otros, 1991) y determinar las posibles causas del estado de movimiento del cuerpo. La observación de dicho estado de movimiento y los efectos percibidos por el observador, junto con la comparación con aquellos efectos que corresponderían únicamente a interacciones newtonianas, permite brindar una explicación de lo observado, dando valor a la elección de SR adecuados para el análisis mecánico.

Para analizar los protocolos e interpretar la información se utilizó una metodología cuali-cuantitativa. Se realizó una lectura preliminar conjunta de las resoluciones de los estudiantes y se acordaron los criterios de análisis. A continuación, se listan las *dimensiones de análisis* que fueron consideradas.

#### A. Identificación del origen del efecto percibido

- Observador y péndulo sobre una superficie inclinada (SRI).
- Observador y péndulo acelerados traslacionalmente (SRnl)
- Observador y péndulo en rotación con velocidad angular constante (SRnl)

#### B. Elaboración del DCL y utilización del recurso fuerzas ficticias

- Las identifican como el agente que provoca de la desviación del péndulo.
- Diferencian las Fuerzas Ficticias de las de Interacción y las identifican como un elemento del formalismo para poder escribir una expresión con la forma de la 2.<sup>a</sup> Ley de Newton.

En la etapa posterior los protocolos fueron estudiados en forma independiente por todos los autores de este trabajo. A continuación, y antes de organizar los resultados, se compararon los análisis realizados por todos los autores en forma individual, se discutieron algunas diferencias y se buscaron consensos.

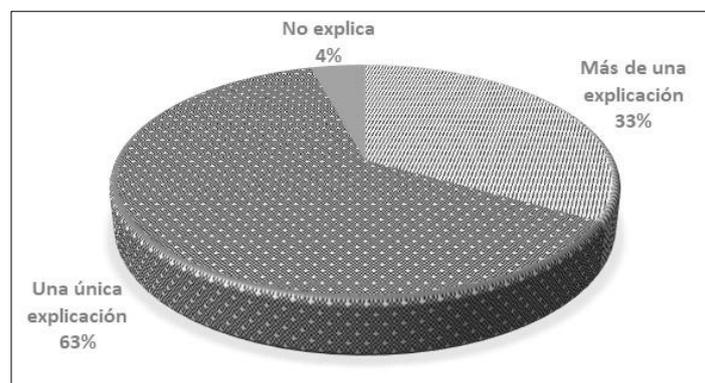
## IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

En el 22 % de las respuestas de los estudiantes las explicaciones y resoluciones no conciben con la situación problemática (SP) planteada. Por ejemplo, el estudiante que escribe: “... a la esfera se la está sometiendo a alguna fuerza de atracción que hace que venza al peso de la esfera y le cambie su dirección (por ejemplo esfera de material imantable y un imán) ...”. Otros estudiantes describieron en sus explicaciones el movimiento de un péndulo simple o de un péndulo cónico. Esto puede interpretarse como un recorte a la información presentada en el enunciado privilegiando la figura por sobre el texto. Desde el punto de vista de la psicología cognitiva, estos razonamientos se asocian a la presencia de sesgos cognitivos, en este caso el sesgo de confirmación. El desempeño general de este grupo de estudiantes durante el desarrollo de la asignatura fue bajo. Por este motivo sus resoluciones no se incluyen en el análisis efectuado que se detalla a continuación.

#### A. Identificación del origen del efecto percibido

Como se mencionó anteriormente, la situación problemática planteada no es una de las que se encuentran tradicionalmente en los libros de texto. En ella se presenta el estado de movimiento de un cuerpo y se solicita determinar la o las posibles causas que lo justifiquen. Se comenzó el análisis de las respuestas con el objeto de identificar aquellos que consideraron una única causa o más de una en sus explicaciones.

El resultado de dicho análisis se muestra en la figura 1. En ella se observa que más de la mitad (63 %) de los estudiantes mencionan una única explicación o causa del efecto observado, siempre desde un SRnl, mientras que el 33 % identifica más de una causa para el efecto percibido. Solo el 4 % no indica ninguna causa. En el segundo grupo, algunos estudiantes mencionan hasta tres causas posibles, dos de ellas correspondientes a observaciones desde SRnl y una desde un SRI.



**FIGURA 1.** Distintas respuestas de los estudiantes según hayan elegido una o más causas del efecto percibido (en porcentaje)

Continuando con esta dimensión de análisis, y haciendo un estudio más detallado, se procedió a clasificar los protocolos producidos por los estudiantes según las posibilidades de movimiento que cada uno de ellos le atribuyó al sistema de referencia desde donde se efectúan las observaciones. De este modo se obtuvo la distribución que se ilustra en la gráfica de la figura 2.

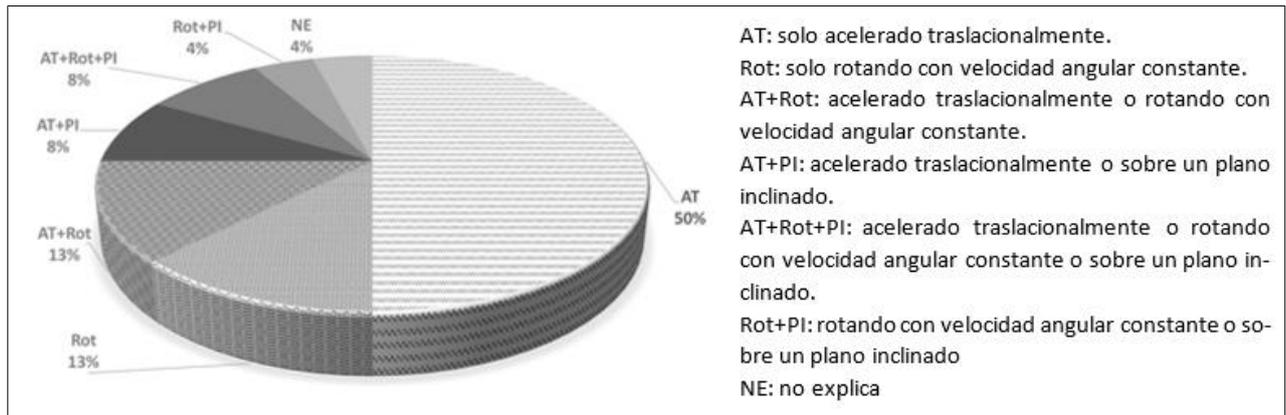


FIGURA 2. Distintas respuestas de los estudiantes en sus resoluciones (en porcentajes)

Analizando los resultados a la luz de la psicología cognitiva, podemos interpretar que aquellos estudiantes que responden a la consigna del problema con una única posibilidad están utilizando en su razonamiento el heurístico de accesibilidad o disponibilidad. Sus respuestas fueron correctas, pero incompletas en el sentido que no mencionaron todas las posibilidades, sino que privilegiaron la información que primero tuvieron disponible, en detrimento de otras posibilidades.

Para complementar el estudio, se contabilizó la cantidad de veces que cada posibilidad aparece en los protocolos. Salvo el 4,2 % que no explica la causa del efecto percibido, el resto de los estudiantes responde que la observación se hace desde un SRnl. La posibilidad de que el péndulo y el observador se encuentran en un sistema acelerado traslacionalmente aparece en el 79,2 % de la totalidad de los protocolos, mientras que la posibilidad de que se trata de un sistema en rotación con velocidad angular constante está en el 37,5 %. Por otra parte, el caso en que tanto el observador como el péndulo están ubicados sobre un plano inclinado, fue mencionada un 20,8 % de las veces, siempre en combinación con alguna o algunas de las otras posibilidades. Estos resultados se ilustran en la figura 3, y de ellos puede inferirse que los procesos de razonamiento de los estudiantes se corresponden con el heurístico de representatividad. Este hecho coincide con que la situación física de un péndulo en un vehículo acelerado traslacionalmente es uno de los ejemplos que aparece con mayor frecuencia en los textos de física básica universitaria.

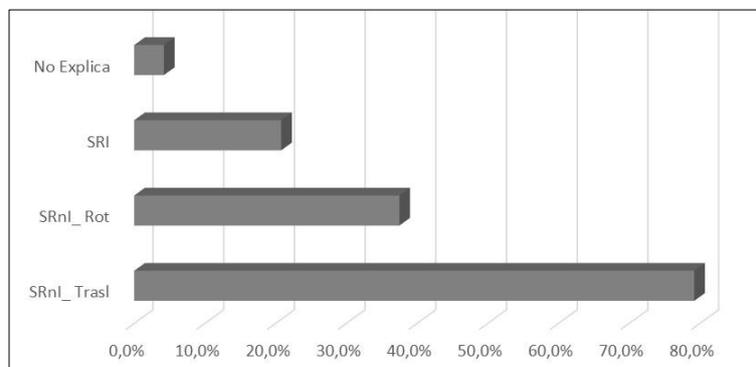


FIGURA 3. Cantidad de veces (en porcentaje) que cada posibilidad aparece en los protocolos

### B. Elaboración del DCL y utilización del recurso fuerzas ficticias

De la lectura de los protocolos pueden inferirse otras características de los modos de razonamiento de los estudiantes. La totalidad indica que la observación está hecha desde un SRnl. Más de la mitad (58,3 %) comienzan sus explicaciones a partir de construir el DCL observando desde un SRI incluyendo solamente las fuerzas de interacción. Analizan, mediante el planteo de las ecuaciones correspondientes a la segunda Ley de Newton, que en ese caso la esfera no estaría en equilibrio, por lo cual deducen que el sistema desde donde se hace la observación debe estar acelerado, es decir que debe tratarse de un SRnl. Los demás estudiantes (41,7 %) parten del supuesto de que se trata de un SRnl, pero sin fundamentarlo, y buscan la fuerza ficticia que justifique el estado de equilibrio de la esfera en dicho SRnl.

En cuanto a la conceptualización de las fuerzas ficticias, la mayoría de los estudiantes (82,6 %) las identifica como un elemento del formalismo que se introduce para poder escribir una expresión con la forma de la segunda Ley de

Newton cuando la observación se hace desde sistemas acelerados. Esto se infiere de los textos que elaboran en los protocolos de resolución, en los que aclaran que las fuerzas ficticias no tienen par de acción y reacción. Algunos estudiantes comentan que en los SRni “aparecen” o “ven” fuerzas ficticias o que la esfera “siente” una fuerza ficticia, a las que alguno llama “invisibles”. Si bien estos términos no son los más apropiados, el hecho que estas palabras sean escritas entre comillas puede interpretarse como una indicación de que se trata de elementos que se introducen desde el formalismo, como, por ejemplo, el estudiante 6, quien dice: “...el mismo “ve” una fuerza “ficticia” la cual aparece debido a que el sistema de referencia de la persona es no inercial. ...”. Estos resultados hacen suponer que, si bien los estudiantes no llegan a expresarse en un lenguaje riguroso desde el punto de vista científico, fueron capaces, en principio, de incorporar este concepto. El resto de los estudiantes (17,4 %) adjudicó erróneamente a las fuerzas ficticias un rol activo con carácter de agente que ejerce una acción sobre el cuerpo, tal como escribe el estudiante 12: “...aparece una fuerza “invisible” (que no cumple las leyes de Newton) y tiende a empujar a la esfera hacia la derecha...”. A partir de este ejemplo vemos que, si bien este estudiante advierte que no existe una interacción, no termina de conceptualizar el rol de las fuerzas ficticias en la Mecánica Clásica.

## V. REFLEXIONES FINALES

A partir de investigaciones anteriores (Cassan, Sánchez y Llonch, 2019) en las cuales se destacó la necesidad de reforzar el estudio del concepto de SR se trabajó, tanto en clases teóricas como prácticas, con situaciones y/o actividades problemáticas en las que los estudiantes debían comparar observaciones efectuadas desde distintos SR, tanto inerciales como no inerciales.

En esta oportunidad se utilizó un instrumento para trabajar en clase con el objetivo de contribuir a que los estudiantes identificaran a las fuerzas como elemento causal central y a su relación con los efectos percibidos, que a su vez les permitiera diferenciar e inferir el SR adoptado para el estudio del sistema físico en cuestión.

Del análisis anterior se puede ver que todos los estudiantes explicitaron el SR desde el cual resolvieron la situación problemática con respuestas correctas pero en general incompletas. La mayoría no advirtió que existía más de una posibilidad de movimiento del SRni utilizado con respecto a un SRI, correspondiendo esto al razonamiento con presencia de procedimientos heurísticos.

La incorporación de la situación problemática formulada en modo diferente de los que aparecen tradicionalmente en los libros de texto o prácticas, mostró ser útil como recurso didáctico. La observación de un estado mecánico de equilibrio, a través del análisis de las interacciones presentes relacionadas al efecto percibido, permitió a los estudiantes inferir el SR adoptado y su movimiento relativo e identificar su carácter de inercial o no inercial.

En función de los resultados obtenidos, creemos conveniente reforzar en las prácticas áulicas la consideración y discusión de situaciones problemáticas que admitan más de una solución, donde la estrategia de resolución no resulte obvia en forma inmediata, sino que les exija a los estudiantes un trabajo intelectual de modo de desafiarlos a extender su forma de pensar el problema a resolver, identificando los datos relevantes y las metas a las que se desea arribar.

## REFERENCIAS

Addad, R. (2012). Relatividad Clásica: dificultades de comprensión en el estudio del movimiento. *Memorias XI Simposio de Investigación en Educación en Física*, 24-26 de octubre, Esquel, Chubut, Argentina.

Addad, R. (2015). Relatividad Clásica: conceptos básicos. *Revista de Enseñanza de la Física*, Córdoba, 27(Extra), 653-659.

Addad, R., Llonch, E., Rosolio, A., Cassan, R. (2017). Las fuerzas como expresión de las interacciones entre cuerpos: una propuesta de trabajo en el aula. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29, 373-380.

Addad, R., y Rosolio, A. (2019). El carácter relativo del movimiento. *Revista de Enseñanza de la Física*, 31, 7-14.

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.

Bowden, J. (1992). Displacement, velocity, and frames of reference: Phenomenographic studies of students understanding and some implications for teaching and assessment, *American Journal of Physics*, 60(3), 262-276. <https://doi.org/10.1119/1.16907>

- Cassan, R., Sánchez, P. y Llonch, E. (2019). Dificultades de estudiantes universitarios en una situación de la relatividad clásica, *Revista de Enseñanza de la Física*, 31(Extra), 167-174
- 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 Bío Bio. *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. & 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.
- Hellingman, C. (1992). Newton's third law revisited, *Phys. Educ.*, 27(2), 112-115. DOI 10.1088/0031-9120/27/2/011
- Jiménez-Valladares, J. de D., & Perales-Palacios, F. J. (2001). Graphic representation of force in secondary education: analysis and alternative educational proposals. *Physics Education*, 36(3), 227-235. DOI 10.1088/0031-9120/36/3/309
- Johnson-Laird, P. N. (1983). *Mental models: Towards a cognitive science of language, inference, and consciousness*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Muñoz, A. (2011). La Influencia de los Sesgos Cognitivos en la Toma de Decisiones. [http://www.indret.com/pdf/820\\_es.pdf](http://www.indret.com/pdf/820_es.pdf). Consultado en junio de 2019.
- Perkins, D. N., Farady, M. & Bushey, B. (1991). Everyday Reasoning and the Roots of Intelligence. En Voss, Perkins y Segal (Eds.), *Informal Reasoning and Education* (pp. 83-105). Hillsdale, New Jersey: LEA.
- Pietrocola, M., & Zylbersztajn, A. (1999). The use of the Principle of Relativity in the interpretation of phenomena by undergraduate physics students. *International Journal of Science Education*, 21(3), 261-276.
- 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. & Kumar, A. (1996). Alternative conceptions in Galilean relativity: inertial and non-inertial observers. *International Journal of Science Education*. 18(5), 615-629.
- Rosolio, A., Sánchez, P., Llonch, E. y Cassan, R. (2015). Los diagramas de interacción en la enseñanza de la física básica universitaria. *IV Jornada de Experiencias Innovadoras en Educación en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura*, 28 de Octubre, Rosario, Santa Fe, Argentina.
- Salmon, M. (1991). Informal Reasoning and Informal Logic. En Voss, Perkins & 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
- 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. & Kahneman, D. (1974). Judgment under Uncertainty: Heuristics and Biases. *Science, New Series*, 185(4157).1124-1131