

Invariancia: una propuesta didáctica para su enseñanza a nivel universitario

Invariance: a teaching proposal at the university level

Elena Hoyos¹ y M. Cecilia Pocoví²

¹Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de Salta, Avenida Bolivia 5150, CP 4400, Salta, Argentina.

²Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Salta, Avenida Bolivia 5150, CP4400, Salta, Argentina.

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

E-mail: hoyosele@gmail.com

Resumen

Se presenta una propuesta didáctica enfocada en la enseñanza del análisis de invariancia de conceptos y leyes, y de los procedimientos necesarios para realizarlo. La propuesta se basa en textos diseñados específicamente para presentar el tema con contenido lingüístico y simbólico y en actividades que favorecen la comprensión, para temas de Mecánica. Se presentan algunos ejemplos de las actividades realizadas. Se evalúan los efectos que dicha enseñanza temprana, a nivel universitario, tiene sobre el desempeño de los alumnos en temas de Electromagnetismo en un curso subsiguiente. Se concluye que la implementación de esta propuesta resulta en que los estudiantes que participaron de ella en el curso de Mecánica básica de nivel universitario, están familiarizados con la terminología referida a la invariancia y pueden utilizarla en los cursos posteriores.

Palabras clave: Invariancia de conceptos; Invariancia de leyes; Alumnos universitarios.

Abstract

A teaching proposal focused on the approach to the invariance analysis of concepts and laws, and the procedures needed to carry it out are presented here. The proposal is based on a series of specifically designed texts that approach the topic using both, the linguistic and symbolic system, and on comprehension favoring activities. The effects that this early teaching has, at the university level, on the students' performance in the following electromagnetism course is evaluated. It is concluded that the implementation of this proposal results in the capability of those students to use the variance-specific terminology in other courses.

Keywords: Concepts invariance; Laws invariance; University students.

I. INTRODUCCIÓN

El movimiento es un fenómeno de carácter relativista y, por lo tanto, aprender este concepto implica conocer dicho carácter como parte fundamental de su definición. Algunos aspectos que muestran inequívocamente su esencia relativista son: la elección de un sistema de referencia respecto del cual se identifican variables y se plantean leyes, el cambio del sistema de referencia o de las variables (estudio de las transformaciones), el análisis de las variables y leyes después del cambio realizado (análisis de invariancia), entre otras. En los cursos tradicionales de física universitaria el movimiento es uno de los primeros temas que se enseñan, es decir que los estudiantes, deberían incorporar tempranamente en sus carreras, la definición de sistemas de referencia, la aplicación de las transformaciones y el análisis de invariancias.

El carácter relativista también existe en otras áreas de la física. Por ejemplo, las transformaciones de Galileo, en Mecánica Newtoniana; las de Lorentz, en Electromagnetismo y Relatividad Especial; las Canónicas, en Mecánica Hamiltoniana; las de Legendre en Termodinámica y en Mecánica Analítica; entre otras. Es decir que, en física, es esencial conocer los procedimientos para analizar el comportamiento de magnitudes y leyes frente a transformaciones.

En esta línea de pensamiento, es frecuente encontrar en libros y cursos que desarrollan la Teoría de la Relatividad Especial, una introducción donde se analiza el comportamiento de variables cinemáticas (posición, velocidad, aceleración) y de las leyes de Newton (2° Ley) en distintos sistemas inerciales de referencia. Es decir, se analiza el comportamiento de magnitudes y leyes frente a las transformaciones de Galileo, introduciendo en esta presentación el concepto de invariancia. Estos desarrollos suelen ser breves, porque se considera que fueron abordados en textos o cursos previos. En general, en estas introducciones

se culmina con el análisis de la invariancia de leyes y magnitudes del Electromagnetismo frente a las transformaciones de Galileo, llegando a una inconsistencia en el paradigma clásico. Este análisis es uno de los cimientos en los que se asienta la Mecánica Newtoniana y, debido a la inconsistencia mencionada, constituyó el punto de partida desde el cual Einstein propuso la Teoría de la Relatividad Especial.

Como consecuencia de lo antedicho y, dado que en los cursos tradicionales de física el primer contacto de los estudiantes con alguna transformación se produce en Cinemática con el planteo de las transformaciones de Galileo y en Dinámica con el análisis del comportamiento de las leyes de Newton frente a estas transformaciones, es de esperar que estos temas sean cuidadosamente desarrollados en los cursos de Mecánica básica. Existe evidencia en Hoyos y Pocoví (2017) que muestra que alumnos que realizaron un trayecto de aprendizaje en un curso tradicional de Mecánica básica con poco acento en la relatividad, demuestran poseer serias dificultades para aplicar y extender lo aprendido al caso del Electromagnetismo. Sería de esperar que un estudio detallado del concepto de invariancia en los cursos iniciales de Mecánica, redunde en beneficios al estudiar el Electromagnetismo en cursos superiores.

Una de las formas más comunes en que los estudiantes de nivel universitario aprenden es mediante el uso de libros de texto Nisty Simpson (2000) siendo, entonces, éstos un recurso didáctico básico en las diferentes etapas de la educación en Ciencias, Solaz Portolés (2009). Por lo tanto, un punto de partida para indagar el modo en que se desarrolla cualquier concepto de física y, en particular, para estudiar la presentación del análisis de invariancia de magnitudes y leyes frente a las transformaciones de Galileo, es a partir del análisis de textos de física básica de nivel universitario. Hoyos y Pocoví (2014) realizan una investigación sobre la presentación de las transformaciones de Galileo en quince libros de Mecánica básica universitaria. Concluyen que, en el desarrollo de la cinemática de una partícula, si bien en la mayoría de los textos se presentan las transformaciones de Posición, Velocidad y Aceleración, éstas no se identifican como transformaciones de Galileo. Estas autoras también encuentran que solo cinco de los quince textos mencionan la invariancia de las leyes de Newton frente a las transformaciones de Galileo, con el agregado de que en estos textos no se hace referencia al concepto de invariancia, ni a los procedimientos necesarios para analizar si una magnitud o una ley son invariantes frente a dichas transformaciones. Finalmente concluyen que *“las transformaciones de Galileo están “subvaluadas” en los textos ya que en la mayoría están limitadas a una lista de ecuaciones y su potencial en otros temas no es explotado.”* (pp. 4506-5 y 4506-6). Esta deficiencia ya ha sido probada en el caso de alumnos que toman cursos de Electromagnetismo (Hoyos y Pocoví, 2017).

Del análisis de la presentación de la invariancia de magnitudes y leyes de la Mecánica frente a las transformaciones de Galileo en los textos de nivel universitario básico, se puede concluir que, tanto el concepto de invariancia como los procedimientos utilizados para realizar los análisis vinculados a este concepto, pasan inadvertidos en el desarrollo de la Mecánica Newtoniana básica, dejando vacíos conceptuales en el aprendizaje en esta área. A lo largo del currículo, el concepto de invariancia con los procedimientos necesarios para su determinación resulta de difícil aplicación en otras áreas de física, como por ejemplo el Electromagnetismo, si los cursos previos han sido planteados desde un abordaje tradicional que no hace hincapié en presentar este concepto desde los primeros temas de Mecánica.

Por lo dicho anteriormente, se presenta en este trabajo, una propuesta didáctica orientada a llenar los vacíos mencionados utilizando como punto de partida el análisis de invariancia frente a las transformaciones de Galileo, en cursos universitarios de física básica. Como parte de esta propuesta se diseñaron textos y actividades que sirven para profundizar el estudio de estos conceptos y procedimientos en temas de Mecánica, de manera de explicitar su importancia. También, se han incorporado situaciones que muestran las diferencias entre el análisis de invariancia de conceptos y aquel realizado para leyes, de manera de resaltar la importancia y las consecuencias de cada tipo. Además, se extiende el análisis de la invariancia a conceptos tales como el Trabajo, la Energía y el Teorema del Trabajo y la Energía; de esta manera se amplía el número de temas de Mecánica en los cuales se hace uso del concepto de invariancia. A partir de la implementación de esta propuesta, se evaluó el desempeño de los estudiantes que participaron en ella, en los análisis de invariancia en temas de Electromagnetismo, en cursos siguientes.

II. FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Como ya se mencionó previamente una de las formas más comunes en que los estudiantes de nivel universitario aprenden es mediante el uso de textos; la propuesta didáctica presentada en este trabajo se asienta en el diseño de textos y actividades vinculadas a dichos textos, fundamentada por los trabajos de Alexander (1992, 1997, 1998a y 2005), Alexander y Jetton (2000) y Jetton y Alexander (2004). En 1994, Alexander y Kulikowich destacaron como una particularidad propia de los textos de Física, que están compuestos por dos tipos de lenguaje, a los que caracterizaron como sistema simbólico y sistema lingüístico (p. 899). Mientras que el primero se basa en fórmulas, gráficos y esquemas, el segundo está represen-

tado por oraciones que explicitan la situación física bajo estudio. La demanda de procesamiento de información por parte del lector, aumenta cuanto menos abundantes y explícitas sean las “traducciones” de un sistema a otro en los textos.

En relación con el sistema simbólico que se emplea en los textos de ciencias para describir la situación física, Redish (2005) afirma que los lectores, muchas veces, tienden a interpretar las ecuaciones en física como expresiones matemáticas, despojando a sus componentes de todo sentido físico. Por su parte, Dee Lucas y Larkin (1988) destacan que, para los alumnos, el contenido simbólico es fácil de recordar pero difícil de comprender. Así, afirman que el proceso de decodificación para obtener la representación semántica del concepto es complejo y muchos estudiantes no logran realizarlo con éxito. Duit (2007) ha detectado que los estudiantes novatos tienden a utilizar como criterio para la comprensión de un concepto la familiaridad con la expresión matemática (ecuación) que describe en símbolos al fenómeno, en lugar de utilizar el criterio científico que requiere demostrar la capacidad de realizar diversas inferencias. Jetton y Lee (2012) señalan que la comprensión de textos científicos se facilita cuando existe una adecuada integración entre el sistema simbólico y el lingüístico. Más aún, destacan que los estudiantes hacen mejor uso de la información cuando el fenómeno físico es expresado en forma verbal; por lo tanto, se puede concluir que las explicaciones en el sistema lingüístico resultan de fundamental importancia para facilitar la comprensión de los lectores.

En particular el concepto de invariancia tiene, simbólicamente, una expresión concreta, viene asociado al análisis del comportamiento de un “objeto” (una variable, una magnitud, una ley) frente a alguna transformación. De modo que la explicitación lingüística del análisis de invariancia es el único recurso para aprender este concepto. En general esta no se presenta en los cursos básicos de física y solo queda implícita en los distintos análisis presentados, de manera que los estudiantes deben interpretar qué significan y qué consecuencias tienen los análisis llevados a cabo. Por otra parte, las transformaciones, usualmente, son presentadas como una lista de ecuaciones, solo mediante lenguaje simbólico, sin explicitación lingüística. La propuesta didáctica, presentada en este trabajo, está basada en textos diseñados que describen lingüísticamente el análisis de invariancia para el caso de las transformaciones de Galileo.

El proceso de aprendizaje a partir de textos, además de involucrar los textos en sí, también incluye otros elementos entre los cuales se pueden mencionar: el lector y las estrategias utilizadas por éste para la comprensión del material leído. Ya en 1997, Brown y Palincsar establecieron que un buen lector supervisa y autoevalúa su propia comprensión para que, de esta manera, cuando la comprensión del texto le resulta insatisfactoria, pueda desplegar un conjunto de actividades metacognitivas que le permitan mejorar dicha comprensión. Por el contrario, un mal lector Pressley (2000) se caracteriza por tener un control insuficiente de su propia memoria, comprensión y realización de tareas cognitivas.

Brown y sus colaboradores (2004) han llevado a cabo investigaciones cuyo objetivo es facilitar la adquisición de capacidades metacognitivas mediante la realización de actividades que permiten desarrollar habilidades que favorecen la comprensión; a estas actividades se les ha dado el nombre de *actividades que favorecen la comprensión (comprehension fostering activities, CFA)*. Entre las actividades seleccionadas por Brown y otros (2004) para promover y supervisar la comprensión lectora, se pueden mencionar: la de realizar resúmenes de los textos, la de efectuar predicciones acerca del contenido del texto, la de aclarar dudas y la de responder preguntas sobre la información presente en el texto. Éste abordaje teórico se tomó, en este trabajo, como complementario al planteo de Alexander mencionado antes.

III. CONTEXTO DE APLICACIÓN

Se detalla a continuación la ficha técnica correspondiente a las características curriculares de la asignatura donde se implementó la propuesta:

- Universidad: Universidad Nacional de Salta – Sede Regional Tartagal
- Facultad: Facultad de Ciencias Naturales
- Escuela de Geología
- Materia: Física I
- Carreras: Ingeniería en perforaciones y Tecnicatura Universitaria en Perforaciones
- Correlatividades: Matemática I.
- Dictado: Cuatrimestral (15 semanas)
- Carga Horaria: La materia tiene un total de 8 horas semanales: 4 de clases teóricas y 4 horas de clases prácticas. Las clases teóricas son tipo expositivo mientras que las clases prácticas son de resolución de problemas.
- Evaluación: los alumnos durante el cursado regularizan la materia aprobando dos exámenes parciales (resolución de problemas). Aprueban finalmente la materia rindiendo un examen final, donde se

evalúa la presentación en forma oral de la teoría.

Los conceptos y principios que se consideran esenciales para ser enseñados son:

- Análisis de variables cinemáticas desde distintos sistemas de referencia: Transformaciones de Galileo.
- Estudio de la invariancia de magnitudes cinemáticas frente a las Transformaciones de Galileo.
- Análisis de invariancia de las Leyes de Newton frente a las Transformaciones de Galileo.
- Aplicación del análisis de invariancia a otras magnitudes y leyes dinámicas.

La secuencia de situaciones planteadas se desarrolla en el dictado tradicional de un curso de física básica. La asignatura en la que se incorporó esta secuencia, tiene una estructura y un orden preestablecido en el que se desarrollan los temas; no se propone realizar ninguna modificación sobre estos. La propuesta didáctica quedó incluida en el desarrollo usual del curso y consta de tres etapas. Por motivos de espacio, no es posible presentar la totalidad de los textos y actividades que se incluyeron en la propuesta. Antes bien, se realizará la descripción de los puntos fundamentales que se tuvieron en cuenta el diseño de cada etapa y de los aspectos más relevantes encontrados a partir de su implementación. Cabe recordar que la propuesta está basada en la lectura de textos diseñados específicamente y en actividades que favorecen la comprensión de los mismos.

Las actividades propuestas consistieron en cuestionarios y problemas. En todos los cuestionarios se plantea que los estudiantes realicen una explicitación lingüística de los análisis realizados, el objetivo es obligar al estudiante a procesar la información expuesta en los textos, poniendo el foco en aquellos aspectos que se consideran más relevantes. Si un estudiante contesta de manera correcta todas las actividades sugeridas, lograría elaborar un resumen de lo leído, enfocado en el concepto de invariancia y en los procedimientos para su análisis en distintos contextos. Los problemas propuestos fueron incluidos como parte de las actividades vinculadas con el texto y también como parte de las guías de trabajos prácticos.

IV. ETAPAS DE LA PROPUESTA

A. Primera etapa: cinemática

En el texto diseñado se presenta explícitamente el concepto de invariancia y de transformaciones. Luego se analizan y muestran simbólicamente las transformaciones de Galileo para la posición, llevando a cabo el análisis de la invariancia frente a dichas transformaciones de las siguientes magnitudes: vector posición, distancia y desplazamiento. También se encuentran y analizan las transformaciones de Galileo para la velocidad, y se estudia la invariancia de ésta. Finalmente, se encuentran las transformaciones de Galileo para la aceleración y se analiza su invariancia. Cabe aclarar que, en todos los casos, el procedimiento seguido para realizar el análisis de invariancia de cada una de las magnitudes, se detalla explícitamente.

Las actividades que favorecen la comprensión están focalizadas en incorporar el concepto de Invariancia de magnitudes cinemáticas. Se presentan a continuación el cuestionario realizado después de la lectura:

Con base en la lectura efectuada realice las siguientes actividades:

- Explique con sus palabras lo que entiende por magnitudes invariantes.*
- Las magnitudes invariantes, ¿pueden ser magnitudes escalares o magnitudes vectoriales?*
- Explique con sus palabras por qué es más importante hablar de magnitudes invariantes que de magnitudes no invariantes.*
- Explique con sus palabras qué son las transformaciones de Galileo.*
- Explique con sus palabras lo que significa la expresión “invariante frente a las transformaciones de Galileo.”*
- Indique cuales de las magnitudes cinemática presentadas en el texto son invariantes frente a las transformaciones de Galileo y cuales no lo son.*

B. Segunda etapa: dinámica

En el texto se analizan los sistemas inerciales, la Primera Ley de Newton y la invariancia de las fuerzas. Luego, se presenta el principio de relatividad galileana y se analiza la invariancia de la Segunda Ley de Newton. Como en la etapa anterior, en los análisis de invariancia de magnitudes los procedimientos se desarrollan explícitamente. También se pone de manifiesto la diferencia fundamental entre el análisis de invariancia de magnitudes y el de leyes.

Las actividades que favorecen la comprensión están focalizadas en aprender la diferencia entre invariancia de magnitudes e invariancia de leyes. Un ejemplo de actividad diseñada para acompañar la lectura del texto es:

Con base en la lectura efectuada realice las siguientes actividades:

- a. Explique con sus palabras, por qué son tan importantes los sistemas inerciales en el estudio de la Mecánica.
- b. Explique con sus palabras qué significa que una ley sea invariante frente a las Transformaciones de Galileo.
- c. ¿Le parece que es lo mismo, decir que una magnitud es invariante frente a las transformaciones de Galileo, a decir que una ley es invariante frente a las transformaciones de Galileo? ¿Puede explicarlo en sus palabras?
- d. Un observador O en un sistema inercial, analiza las interacciones sobre el cuerpo de la Figura 1. El observador O dice que existe interacción entre:
 1. El cuerpo y la Tierra
 2. El cuerpo y la barra
 3. El cuerpo y la cuerda
 4. El cuerpo y el resorte.
- e. Un observador O' que se mueve a velocidad constante respecto de O , ¿identificará las mismas interacciones que O ? Analice cantidad y tipo de interacción. Justifique su respuesta.

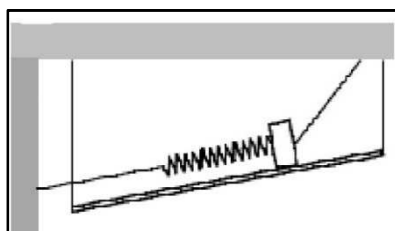


Figura 1. Cuerpo sobre barra adosado a resorte y sujeto por cuerdas.

C. Tercera etapa: trabajo y energía

En el texto se presenta, mediante un ejemplo, el análisis de la invariancia del Trabajo, de la Energía Cinética y del teorema del Trabajo y la Energía. Luego se realiza el mismo análisis pero en forma genérica. Se explicitan los procedimientos seguidos durante el análisis.

Las actividades que favorecen la comprensión están focalizadas en aplicar el análisis de invariancia para magnitudes como el Trabajo y la Energía y al teorema que las vincula. Un ejemplo de actividad diseñada para acompañar la lectura del texto es:

Con base en la lectura efectuada realice las siguientes actividades:

- a. En este texto se analiza invariancia de algunas magnitudes ¿Cuáles son las magnitudes que se estudian? ¿Cuáles son invariantes y cuáles no son invariantes frente a las transformaciones de Galileo?
- b. En este texto se estudia la invariancia de algunas leyes de la mecánica ¿Cuál o cuáles son estas leyes? Diga si son o no invariantes frente a las transformaciones de Galileo.
- c. Le parece que es lo mismo, decir que una magnitud es invariante frente a las transformaciones de Galileo, a decir que una ley es invariante frente a las transformaciones de Galileo. ¿Puede explicarlo en tus palabras?
- d. Se anima a analizar la energía potencial respecto de dos sistemas inerciales de referencia O y O' ¿la energía potencial es invariante frente a las transformaciones de Galileo?

V. EVALUACIÓN DE LA PROPUESTA Y CONCLUSIONES

Como se describió previamente, la propuesta didáctica se aplicó en la asignatura Física I (Mecánica básica) con el objetivo de profundizar la enseñanza del concepto de invariancia, con respecto al abordaje tradicional. Luego, se evaluó el desempeño de los alumnos con actividades en el contexto del Electromagnetismo en un curso siguiente (Física II).

Durante el dictado de Física I, la propuesta fue desarrollada mediante la entrega del material de lectura y el desarrollo de las distintas actividades diseñadas para los casos de los conceptos de Posición, Distancia, Desplazamiento, Velocidad, Aceleración, Fuerza, Trabajo, Energía Cinética y para la Segunda ley de Newton y para el Teorema del Trabajo y la Energía. En el curso siguiente de Electromagnetismo los alumnos realizaron actividades de análisis de invariancia de: Fuerza de Coulomb, Campo Eléctrico, Fuerza magnética, Campo Magnético, Campo Electromagnético y la Fuerza Electromotriz Inducida. Además,

se elaboraron los desarrollos para estudiar la invariancia de las siguientes leyes: Ley de Coulomb, Ley de Gauss y la Ley de Faraday-Lenz. La propuesta presentada en este trabajo incluye solo las actividades para un curso de Mecánica básica universitaria.

Ya se mencionó que, parte del incentivo para plantear esta investigación surgió ante las dificultades identificadas en el manejo del concepto de invariancia en los cursos de Electromagnetismo siguientes al de Mecánica. Y que se utiliza como evaluación de la propuesta implementada en la asignatura Física I (Mecánica Básica) las actividades ejecutadas en el curso de Electromagnetismo siguiente, en particular resulta de interés aquella basada en la Fuerza de Lorentz, que se muestra a continuación:

“Una partícula de carga q se mueve a velocidad constante $\vec{V}_q = (V_x\hat{i} + V_y\hat{j} + V_z\hat{k})$ —mucho menor que la velocidad de la luz— medida desde un sistema de referencia inercial O . En este sistema el campo eléctrico es nulo y existe un campo magnético uniforme y constante $\vec{B} = B\hat{k}$. Un sistema inercial O' se mueve a velocidad constante $\vec{u} = u\hat{i}$ respecto de O .

- Encuentre la fuerza de Lorentz sobre la partícula, medida desde el sistema O .*
- Encuentre la fuerza de Lorentz sobre la partícula, medida desde el sistema O' . (Ayuda: para calcular las velocidades use las transformaciones de Galileo y considere que los campos eléctrico y magnético son los mismos para los dos sistemas inerciales)*
- Compare los resultados obtenidos en los incisos a) y b). Las fuerzas obtenidas, ¿son iguales? Analice este resultado.*
- ¿Qué puede decir de la invariancia de la fuerza de Lorentz que actúa sobre una partícula frente a las transformaciones de Galileo?*
- El análisis previo, ¿difiere en algún aspecto de aquel llevado a cabo en el curso anterior de Física I, en dinámica de una partícula? Justifique.”*

Se considera como respuesta correcta para los incisos a) y b), la determinación en el sistema simbólico (Jetton y Alexander, 2004) de la fuerza magnética en cada sistema. En el caso del inciso c) se considera que una respuesta es correcta si se establece, simbólicamente o lingüísticamente, que las fuerzas son distintas en los distintos sistemas de referencia, y en el análisis lingüístico del resultado, se muestra la dependencia de la fuerza con la velocidad. El inciso d) está dirigido a determinar si los alumnos utilizan correctamente el concepto de “invariancia”, entonces, una respuesta correcta sería cuando se reconoce que, si la fuerza de Lorentz varía para distintos sistemas de referencia, entonces dicha fuerza no es invariante. En el inciso e), la comparación con el caso de dinámica, debería conducir a los estudiantes a percibir que existe una inconsistencia entre el resultado obtenido en el caso de la Fuerza de Lorentz y aquello aprendido en el curso de Mecánica: que la Fuerza es un invariante frente a las transformaciones de Galileo, una respuesta correcta a este inciso incluiría justificaciones en las que se manifieste la inconsistencia mencionada.

En lo que sigue se destacan los aspectos más relevantes de los desarrollos llevados a cabo por los estudiantes en el análisis de la invariancia de la Fuerza de Lorentz. De los treinta y cinco alumnos que participaron en las actividades, veintidós lograron responder a la actividad completa. Todos los alumnos responden correctamente los incisos a) y b). El inciso c) fue respondido de forma incompleta por veinte alumnos. En la mayoría de estos casos, los alumnos expresan o bien en sistema lingüístico o bien en el simbólico que las fuerzas son distintas, pero no llevan a cabo ningún otro análisis. El inciso d) es contestado correctamente por veintiún alumnos; la mayoría de los estudiantes utiliza expresiones lingüísticas del tipo “la fuerza magnética no es invariante frente a las transformaciones de Galileo.” En el inciso e), veinte alumnos contestan que el análisis realizado difiere del de dinámica; doce de ellos, no justifican sus respuestas. Los ocho restantes explican sus respuestas con expresiones del tipo “Este análisis es diferente al visto en dinámica de una partícula ya que dicha fuerza no depende de la aceleración sino de la velocidad, siendo esta invariante”. El análisis de la dependencia de la fuerza de Lorentz con la velocidad era una explicación esperada para el inciso c) como justificación de la diferencia entre fuerzas en distintos sistemas de referencia. Sin embargo, la expresión citada constituye una serendipia pues no se esperaban estas explicaciones: en este tipo de expresiones los estudiantes podrían estar manifestando que la segunda Ley de Newton es sólo una relación matemática entre la Fuerza y la Aceleración, despojándola del estatus de ley. En ningún caso, las respuestas dadas mencionan que existe una inconsistencia entre lo aprendido en Mecánica y lo determinado en esta actividad, es decir que las respuestas son incorrectas.

Como aspecto positivo de la implementación de esta propuesta se destaca que los estudiantes que participaron de ella en el curso de Física I, están familiarizados con la terminología referida a la invariancia y pueden utilizarla en los cursos subsiguientes. En cuanto al desarrollo de los procedimientos asociados al análisis de invariancia, la mayoría son capaces de llevarlos a cabo. Como planteamiento para mejorar la propuesta a futuro, se deberían incorporar más actividades referentes a las diferencias entre relaciones que vinculan magnitudes y leyes físicas.

Cabe destacar que esta propuesta fue implementada en un curso de Física de una carrera de Ingeniería, esto potencia los resultados obtenidos, teniendo en cuenta que tradicionalmente en estas carreras los aspectos relativistas no son abordados. En la versión extendida de la propuesta que incluye actividades en

una materia de Electromagnetismo, la Relatividad Especial surge naturalmente. Por otra parte, es de esperar que este tipo de propuesta represente mayor interés en carreras de Profesorado y Licenciatura en Física en las cuales, posterior a cursos de Electromagnetismo, se abordan asignaturas de Física Moderna en las cuales se estudia Relatividad Especial, el análisis realizado en la propuesta extendida es el punto de partida de estos cursos.

REFERENCIAS

Alexander, P. A. (1992). A cognitive perspective on mathematics: Issues of perception, instruction, and assessment. En J. P. Pontes, J. F. Matos, y D. Fernandez (Eds.), *Mathematical problem solving and new information technologies*, (pp. 61-76). New York: Springer -Verlag.

Alexander, P.A, y Kulikowich, J. (1994). Learning from a Physics text: A synthesis of recent research. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(9),895-911.

Alexander, P. A. (1997). Mapping the multidimensional nature of domain learning: The interplay of cognitive, motivational, and strategic forces. En M. L. Maehr, y P. R. Pintrich (Eds.), *Advances in motivation and achievement* (Vol. 10, pp. 213-250). Greenwich, CT: JAI Press.

Alexander, P. A. (1998a). Positioning conceptual change within a model of domain literacy. En B. Guzzetti, y C. Hynd (Eds.), *Theoretical perspectives on conceptual change: Multiple ways to understand knowing and learning in a complex world*, (pp. 55-76). Mahwah NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Alexander, P. A., y Jetton, T. L. (2000). Learning from Texts: A multidimensional and developmental perspective. En M. P. Kamil (Ed.), *Handbook of Research of Reading*, (pp. 285-310). NJ: Lea Inc.

Alexander, P. A. (2005). The path to competence. A lifespan developmental perspective on reading. *Journal of Literacy Research*, (pp.413-436).

Brown, A. L., Palincsar, A. S., y Armbruster, B. B. (2004). Instructing comprehension-fostering activities in interactive learning situations. En Ruddell y Unrau (Eds.), *Theoretical models and processes of reading* (pp. 780-809). Newark: International Reading Association.

Dee Lucas, D.y Larkin, J. H. (1988). Attentional strategies for studying scientific texts. *Memory y Cognition*, 16(5),469-479.

Duit, R. (2007). Science education research internationally: Conceptions, research methods, domains of research. *Eurasia Journal of Mathematics, Science y Technology Education*, 3(1),3-15.

Hoyos, E. y Pocoví, M. C. (2014). Explicitación de las Transformaciones de Galileo: el eslabón perdido en los libros de física básica. *Latin-American Journal of Physics Education*, 8(4), 4506-1 a 7

Hoyos, E. y Pocoví, M. C. (2017). Aprendizaje Avanzado: comprensión del concepto de invariancia a partir de texto. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29, 75-86.

Jetton, T. L. y Alexander P. A. (2004). Domains, teaching and literacy. En T. L. Jetton, y J. A. Dole (Eds.), *Adolescent literacy research and practice*. (pp. 15-39). New York, NY: The Guilford Press.

Jetton, T. L.y Lee, R. (2012). Learning from text: Adolescent literacy in the past decade. En T. L. Jetton, y C. Shanahan (Eds.), *Adolescent literacy in the academic disciplines. General principle and practical strategies*. (pp. 1-33). New York, NY: The Guilford Press.

Nist, S. y Simpson, M. (2000). College studying. En M. Kamil, P. Mosenthal, P. D. Pearson, y R. Barr (Eds.), *Handbook of reading research*. III, (pp. 645-666). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.

Pressley, M. (2000). Comprehension instruction: What makes sense now, what might make sense soon. En M. L. Kamil, P. Mosenthal, P. D. Pearson, y R. Barr (Eds.), *Handbook of reading research* (pp. 545-563). Mahwah, NJ: Erlbaum.

Redish, E. (2005). Problem solving and the use of math in physics courses. World view on physics education in 2005. *Focusing on Change*. Delhi, India.

Solaz Portoles, J. J. (2009). Aprender ciencia con textos: Bases teóricas y directrices. *Latin American Physics Education*, 3(2).