

# Reflexiones sobre la enseñanza actual en física. Base conceptual

Reflections on current education in physics.  
Conceptual basis

Ricardo Rubén Addad<sup>1\*</sup>, Alejandra Rosolio<sup>1</sup> y Rosana Cassan<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura, Universidad Nacional de Rosario, Pellegrini 250, CP 2000, Rosario, Santa Fe. Argentina.

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

Recibido el 30 de septiembre de 2022 | Aceptado el 24 de octubre de 2022

## Resumen

La dependencia de la tecnología moderna se fundamenta en el entramado de leyes científicas donde la Física juega un rol preponderante en la enseñanza de las ciencias, debiendo responder y evolucionar con los cambios trascendentales, definiendo perfiles, aportando contenidos e incorporando lenguajes que caracterizan nuestro mundo y que se acentuarán cada vez más en los próximos años. Estos avances emergentes se encuentran entre los cambios con los que la Física y la Educación en Física deben enfrentarse, convirtiéndose en un desafío conceptual. En este trabajo se propone reflexionar sobre una base conceptual primaria, en especial sistema de referencia, espacio y tiempo, para el tratamiento de la relatividad Newtoniana como paso previo al estudio de la Relatividad Especial y General.

**Palabras clave:** Conceptos de una teoría, Relatividad, Espacio-tiempo.

## Abstract

The dependence on modern technology is based on the framework of scientific laws where Physics plays a preponderant role in science education, having to respond and evolve with transcendental changes, defining profiles, providing content and incorporating languages that characterize our world and which will become more and more pronounced in the coming years. These emerging advances are among the changes that Physics and Physics Education must deal with, becoming a conceptual challenge. It is proposed in this work to reflect on a primary conceptual basis, especially the reference system, space and time, for the treatment of Newtonian relativity as a previous step to the study of Special and General Relativity.

**Keywords:** Concepts of a theory, Relativity, Space-time.

## I. INTRODUCCIÓN

El mundo en que vivimos se caracteriza por el dinamismo de su proceso de cambio, cuyas proyecciones están más allá de las concretas previsiones que hoy se puedan formular. Podemos reconocer el papel que en esta transformación cumple la ciencia y la tecnología de la mano de la Física. Estas representan modelos básicos de la modernidad, brindan herramientas capaces de pensar el mundo y sus realidades, de aceptarlas, de dominarlas y de crear condiciones de mejora. Estas leyes de acción sobre los objetos de interés, utilizan modos codificados y reproducibles de hacer las cosas, modos que se derivan de principios racionales que confluyen de todas las áreas científicas.

Por lo tanto, exigen aptitudes compatibles con el dinamismo del desarrollo actual y de los procesos de cambio, generando una nueva cultura que debe ser objeto de información y de aprendizaje continuo para una efectiva capacidad de asimilación y adaptación. Desde esta perspectiva es necesario asumir y resolver el proceso de transición que estamos viviendo si queremos formar eficientemente a las nuevas generaciones para el futuro, definiendo perfiles,

aportando contenidos e incorporando lenguajes que caractericen este proceso de cambio. En consecuencia, los sistemas educativos y los procesos de enseñanza-aprendizaje deben asumir y desarrollar los valores de esta nueva cultura tecnológica, los hábitos de investigación y de experimentación, los sistemas de trabajo que apunten a la comprensión racional de la realidad en el dinamismo y la fluidez del proceso de cambio. Esto significa indudablemente un nuevo desafío a la educación actual, a sus contenidos, a su metodología, a sus técnicas de comunicación y de razonamiento.

## II. EL ROL DE LA FÍSICA EN LA EDUCACION

El rol de la Física en la educación en ciencias es dinámico; debe responder y evolucionar con los cambios trascendentales que ocurren continuamente. El conocimiento científico actual, se ha reflejado en una tasa acelerada de introducción y adopción de tecnología, cuya dependencia se encuentra basada en el entramado de leyes científicas donde la Física juega un rol casi preponderante. Desde principios del siglo XX, hemos visto tantos avances en Física como los que han ocurrido en toda la historia de la humanidad. Este avance quizás no sea el factor más significativo relacionado con el objetivo de la Educación en Física. Por el contrario, deberíamos proporcionar al estudiante un punto de vista, una actitud mental y una capacidad para abordar los principios y métodos de análisis de la Física contemporánea, pues, sin formación y experiencia en estos modos del pensamiento, no demostrarán ser competentes para abordar los problemas emergentes de la ciencia y la tecnología.

Los desafíos contemporáneos, requieren cada vez más una perspectiva de equipo. Esto impulsa una creciente necesidad de buscar colaboraciones con grupos multidisciplinarios de expertos, incluyendo la capacidad de comunicarse mediante la tecnología y, fundamentalmente, la comprensión conceptual básica científica de las complejidades asociadas a los desafíos del estudio que se presente. ¿Cómo podríamos durante el proceso de formación avanzar en estos aspectos? ¿Qué se ha mantenido constante en la formación y qué hay que cambiar? Consideramos que deben incluirse los desafíos en las fronteras de la ciencia, los cuales incluyen conceptos primarios y su evolución en el marco científico (Collins y Stockton, 2018; Markham y Mintzes, 1994). En esta necesidad de cambio se sustenta el aporte de este trabajo.

## III. TEORIA CIENTIFICA. CONCEPTOS PRIMITIVOS

El análisis de la evolución de las ideas y conceptos científicos nos muestra el enorme esfuerzo realizado para llegar a algunas de las nociones fundamentales laboriosamente desarrolladas a través del transcurso del tiempo. Ha significado la superación de grandes obstáculos para que tales nociones sean accesibles e incluso parezcan naturales. Este es el caso de la evolución de conceptos como espacio, tiempo, inercia, simetría, relatividad, entre otros. Para su comprensión se requiere un gran proceso de abstracción, por la sencilla razón de que no es posible observarlos directamente en la naturaleza. En general no pueden inferirse inmediatamente de la experiencia, sino a través de una especulación que sea coherente con lo observado, son productos de un largo esfuerzo del pensamiento (Winther, 2021). Utilizar este análisis en la enseñanza puede servir no sólo para definir los conceptos que se encuentran en la estructura de una Teoría, sino también para mostrar a los estudiantes las dificultades con que nos enfrentamos en la búsqueda de conocimientos. Es decir que la introducción de la evolución de estas ideas y conceptos en las ciencias puede ser un excelente preámbulo de una discusión sobre los mecanismos de construcción de conocimientos.

Esta evolución comenzó con una serie de preguntas cuestionadoras a una serie de especulaciones propuestas. En toda teoría científica, sus conceptos se dividen en dos clases. La primera clase consta de los llamados conceptos primitivos, son aquellos conceptos que no se pueden definir en términos de otros conceptos de la teoría en consideración (también se denominan indefinibles). La segunda clase se forma con los llamados conceptos derivados, aquellos que se pueden definir en términos de otros conceptos de la teoría, ya sean conceptos primitivos o derivados. Los conceptos primitivos de una teoría pueden verse como el supuesto más elemental de existencia a partir del cual partimos en la construcción de tal teoría, asumiéndolos implícita o explícitamente, de la forma más simple y clara posible para la intuición. Si no prestamos atención a este aspecto de la construcción de una teoría, tenderá a parecer difusa dando la impresión de arbitrariedad. El peor de los casos surge cuando suprimimos por completo los conceptos primitivos, ya que entonces no podemos elegir conceptos más simples e intuitivos en términos de los cuales describir otros conceptos de la teoría, además del problema lógico que esto representa (Kalyan, 2016).

En el ámbito de las ciencias, el lenguaje matemático ha permitido simbolizar y simplificar la teoría y los respectivos experimentos que en ella se requiere, y es menester brindar explicaciones adecuadas en diferentes escenarios, entre ellos el ámbito educativo: ¿cómo enseñar las diferentes temáticas involucradas? El conocimiento científico se construye por procesos de creación y comprobación de teorías que evolucionan históricamente, analizando la red de

conceptos primitivos utilizados para su descripción y considerando que solo son aproximaciones tentativas y parciales sobre determinados aspectos de la realidad.

El análisis de la relatividad del movimiento requiere una estructura conceptual compleja, ya que involucra la individualización del observador y la ubicación del cuerpo en un espacio dimensional, el conocimiento de las limitaciones y aproximaciones de la teoría que utilizaremos en su estudio. De este modo, la Mecánica Clásica o Newtoniana (MC) se constituye en un paso previo, junto a la Electrodinámica, al estudio de la Teoría de la Relatividad Especial (TRE) y de la Teoría de la Relatividad General (TRG). Su aprendizaje y extensión encuentra uso profesional útil en diferentes ramas científicas, no solo de investigación y formación, sino también en el uso práctico.

La red de conceptos físicos involucrados es de complejidad creciente en su comprensión y ubicación en la teoría que seleccionemos para realizar nuestro estudio. Junto a los temas más formales y tradicionales de los planes de estudios se podría esperar que los estudiantes exploren diferentes interpretaciones de los conceptos involucrados, con sus aspectos históricos, epistemológicos y socioculturales. El objetivo del estudio debe permitir a los alumnos dar cuenta de las postulaciones que forman la base de la teoría que uno considere en el aprendizaje, discutir cualitativamente algunas de las consecuencias de esta teoría al dar una descripción de ella. Esta amplia descripción deja margen para diversas interpretaciones de lo que constituye los recursos primarios (sus conceptos primitivos y derivados). De hecho, al enfatizar los aspectos históricos y epistemológicos de los conceptos físicos nos ocupamos de responder a la pregunta cómo se establece el conocimiento científico y de los conflictos y dilemas que pueden surgir durante este proceso. Además, se debe contribuir a crear conciencia de que la Física es parte de nuestro patrimonio cultural y que el tema debe ser visto en una perspectiva histórica. Esto seguramente redundará en la adquisición de habilidades básicas en la discusión de trabajo en equipo, expresión oral y escrita, al aprender los conceptos que sean necesarios y, por ende, la Física. Siguiendo este camino, deberíamos proponer un análisis y una reflexión del problema (donde estén los conceptos de la teoría), el desarrollo y diseño de soluciones a las problemáticas planteadas y su evaluación mediante la investigación que se realice en el aula. El aprendizaje y el desarrollo conceptual debería verse como un proceso de interacción entre pares, y con su entorno (físico y tecnológico), resultado de actividades colaborativas que están parcialmente mediadas por el entorno de aprendizaje.

#### IV. CONCEPTOS DE UNA TEORÍA. EL CARÁCTER RELATIVO DEL MOVIMIENTO

En general, en la mayoría de las universidades, escuelas e institutos, los cursos introductorios de Física promueven ideas de múltiples representaciones de la realidad física en marcos de observación o *sistemas de referencia* (SR) diferentes. Estas representaciones están relacionadas con principios de *invariancia*, los cuales son muy importantes al dar a menudo una idea primaria sobre el funcionamiento del mundo natural, al hacer visible que una relación particular no es un mero accidente de alguna posición preferencial de un observador, sino es un efecto de alguna *simetría* presente en la naturaleza. Por lo tanto, el SR (concepto derivado) se concibe como uno de los conceptos básicos a enseñar en estos cursos que describen el comportamiento de sistemas físicos considerando la perspectiva de diferentes observadores. Responde a la red de conceptos primitivos (*tiempo, espacio*) que definen la teoría marco que se utilice para el estudio físico, sus características y su métrica. Considerar un SR, implica la elección de un escenario y una serie de coordenadas espacio-temporales las cuales facilitarán la identificación de un punto de interés en el espacio (su posición), y con ello, además, los hechos de cualquier acontecimiento con su respectivo orden de sucesión. El estudio del movimiento se inicia en el marco de la MC, donde se consideran aproximaciones de las características reales del espacio y del tiempo (de acuerdo a las llamadas transformaciones de simetría, con las consiguientes invariancias). Se deben analizar y reflexionar sobre estos conceptos y sus aproximaciones, es necesario plantear interrogantes a fin de su comprensión y ubicación en el marco de la teoría (Addad y Rosolio, 2019).

En esta etapa, debemos notar que la elección de un SR consistirá de una serie de acuerdos que empleará un investigador, analista, observador, para, a partir de ellos poder medir posiciones, tiempos y también las magnitudes físicas de interés (relevantes) en nuestro estudio, de acuerdo a los conceptos primitivos involucrados: espacio y tiempo.

Resulta claro que el espacio-tiempo geométrico por el cual atraviesa un cuerpo como consecuencia de su movimiento y el valor asignado a las magnitudes físicas, corresponden al SR considerado. Por lo tanto, al movimiento se lo estimará como relativo a esta serie de acuerdos. Pese a que su elección es indiferente e igualmente posible para la descripción del movimiento de un cuerpo, los fenómenos físicos no ocurren igual en todos los SR. Comúnmente, es en el estudio cinemático donde se establece la naturaleza relativa del movimiento y la adición de velocidades en su forma Galileana. En este contexto el principio de relatividad (PR) es por lo general, y por primera vez, establecido en el curso. Este principio exige o demanda la equivalencia de todos los observadores en la aplicación de leyes físicas para describir fenómenos naturales: una declaración muy general que no puede ser comprobada por estudiantes en el tiempo en que es introducida.

De acuerdo a esto, surgió nuestro proyecto de investigación marco “El carácter relativo del movimiento en las representaciones de estudiantes de ingeniería”, radicado en la Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura de la Universidad Nacional de Rosario, que tiene como finalidad explorar la comprensión de los estudiantes de algunos conceptos básicos sobre la relatividad clásica, cuando ellos ensamblan sus ideas en un primer curso de Mecánica para carreras de Ingeniería. Uno de sus objetivos pretende sentar una base sólida en relación a la realidad relativa de aquellos conceptos físicos involucrados como paso previo al estudio de la TRE y TRG. Se ha propuesto un material reflexivo de uso áulico, dinámico y no cerrado, de consulta, intercambio y discusión. Este no solo involucra el carácter relativo de las magnitudes físicas relevantes, sino también criterios de invariancias, simetrías y limitaciones de la teoría, que conllevan el uso de aproximaciones, de gran complejidad en su naturaleza conceptual y matemática (Addad y Rosolio, 2019). También hemos procedido a analizar diferentes dificultades de comprensión detectadas en los estudiantes, y se han propuesto estrategias utilizadas en situaciones de enseñanza–aprendizaje (Addad, Llonch, D’Amico y Rosolio, 2011; Addad, 2012; Addad, Llonch, Rosolio y Sánchez, 2013; Addad, 2015 y Cassan, Sánchez y Llonch, 2019).

Los conceptos que detallamos en la introducción como ejemplos: tiempo-espacio-inercia-relatividad, se encuentran en el interior del marco del fenómeno del movimiento, el cual fue objeto de estudio desde la antigüedad, y tenían que ser explicados por cualquier teoría física que aspirara a ser aceptada. En el momento en que la relatividad del movimiento apenas comenzaba a comprenderse, Newton introdujo una teoría del movimiento absoluto en el espacio y el tiempo absolutos. ¿A qué refiere Newton como absoluto? Al considerar el principio de inercia (concepto primitivo, relacionado con el concepto de masa inercial), ya plenamente establecido en esa época, se enfrenta al problema de hallar el SR en el cual este principio y todas las otras leyes de la mecánica sean válidas. Plantea sus leyes del movimiento al interior de tales conceptos, las refiere a los conceptos absolutos de tiempo y espacio. Sin ellos la ley de inercia carecía de sentido. Un lugar fijo en el espacio absoluto de Newton no tiene realidad física. Para llegar a una formulación definida se introduce el concepto de sistema de referencia inercial (SRI), un SR donde tiene validez la ley de inercia. Para esto se recurre al PR utilizado por Galileo, el cual señala en esencia que las leyes de la mecánica tienen exactamente la misma expresión, ya sea desde un SRI con movimiento rectilíneo y uniforme o desde uno en reposo en el espacio. Este principio está relacionado directamente con la noción de espacio absoluto planteada por Newton. Si se consideran dos sistemas que se mueven uno con respecto al otro a velocidad constante, ¿qué sentido tiene preguntar cuál es el que está en reposo y cuál es el que se mueve? De esta manera, al caracterizar a los SRI, ya no es necesario el concepto de espacio absoluto. Es en este contexto donde Newton enuncia sus leyes del movimiento: las tres leyes de la dinámica y su ley de la gravitación universal, y es en ellas donde sintetiza una concepción general del Universo. En ellas, el estudio del movimiento utiliza las razones de cambio temporales como lenguaje matemático y relacionan las interacciones-fuerzas (concepto primitivo) y las variables relevantes utilizadas para su descripción.

De esta forma, los conceptos y relaciones que conforman la teoría contribuyen a desarrollar criterios de selección de SR para simplificar matemáticamente la descripción de movimientos y su consiguiente explicación. Según lo expuesto, uno de los límites en la validez de las Leyes de la MC es que se restringe a los llamados SRI. Detectado uno, serán pues SRI equivalentes todos los que se encuentren en reposo o en movimiento rectilíneo y uniforme respecto de él. Desde todos ellos se cumplen las tres leyes de Newton, este hecho constituye el llamado PR Clásico (PRC) o de Galileo (Addad, 2012; Martínez, 2005; Ohanian, 2004). En todos ellos estas leyes son válidas y 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; solo la velocidad relativa al marco de observación tiene un significado objetivo, no existiendo forma alguna de privilegiar un SRI sobre otro.

Todos los experimentos mecánicos dan el mismo resultado para cualquier observador solidario a un SRI y por lo tanto todos los observadores inerciales ven la misma física, imponiéndose de este modo ciertas condiciones sobre la forma de sus leyes. Para ello existen las llamadas transformaciones que no solo imponen restricciones en la forma que pueden tener las leyes físicas sino también ofician de traductor sobre los valores obtenidos por observadores solidarios a marcos o SR diferentes. Dentro de la clase de SRI, estas transformaciones tienen una forma específica y una estructura matemática de un grupo de simetría (grupo de operaciones o transformaciones geométricas que deja invariante cierta entidad geométrica o entidad física). En otras palabras: las leyes de la física deben ser invariantes y las cantidades que aparecen en ellas tienen que ser tales que transformen bien bajo las transformaciones de ese grupo.

Surgen entonces las preguntas: ¿qué se entiende por simetría en Física? ¿qué significa invariancia? La Física al analizar los hechos experimentales, por un lado, y su traducción en un formalismo matemático coherente por el otro, utiliza una visión física, la simetría, la cual representa una metodología seguida por la Física Moderna para construir modelos coherentes y exitosos cuyo objetivo es comprender las leyes físicas fundamentales en todas las escalas, desde el universo microscópico al macroscópico. El desarrollo del concepto algebraico de un grupo, permitió una generalización y refinamiento de esta idea; surgió una noción matemática precisa de simetría que era aplicable no solo a los objetos físicos, sino también a las ecuaciones matemáticas y, por lo tanto, a lo que nos interesa especialmente, las leyes de la Física expresadas como ecuaciones matemáticas. La noción teórica de grupo de simetría es la noción de invariancia bajo un grupo específico de transformaciones (Wigner, 1949). Invariancia es un término matemático: algo

es invariante cuando una transformación dada no lo altera. Esta noción matemática se utiliza para expresar la noción de simetría física en la que estamos interesados, es decir, la invariancia en un grupo de transformaciones. Este es el concepto de simetría que ha demostrado ser tan exitoso en la ciencia moderna. La aplicación de los principios de simetría a las leyes fue de importancia central para la Física en el siglo XX, como se observa en el contexto de las teorías de la TRE y TRG. Requerir que las leyes, cualquiera que sea su forma precisa, satisfaga ciertas propiedades de simetría, se convirtió en una herramienta metodológica central de los físicos teóricos en el proceso de llegar a la forma detallada de varias leyes. Las simetrías de la ley (ecuación) se encuentran en el conjunto de sus soluciones, por lo tanto, se puede usar las simetrías de la ley como una guía para encontrar soluciones, es decir, para determinar qué fenómenos son físicamente posibles cuando no se conocen todas las soluciones (Addad y Rosolio, 2019).

El PR nos proporciona una simetría relacionada con observadores en movimiento relativo. Ya que el PR impone que un observador solo es capaz de medir velocidades relativas a marcos o SR, las leyes de la física no pueden ser formuladas en términos de velocidades: solo los cambios de velocidad son admisibles, ya que estos son independientes de los observadores. Efectivamente, las leyes de Newton están formuladas en función de la aceleración, que sí puede ser determinada por medidas efectuadas respecto al marco o SR en sí mismo, y no de la velocidad. Pero hay más por destacar: si dos observadores analizan el mismo suceso, cada uno desde su propio marco o SR, se tienen que poder relacionar los resultados de un observador con los resultados del otro. Esta relación es también una transformación. En particular, las transformaciones entre las observaciones realizadas en diferentes SRI son las correspondientes a las observaciones de Galileo. Su análisis muestra y confirma los resultados conocidos, en acuerdo con el PRC que afirma que diferentes observadores inerciales ven la misma física. Las leyes de la Física que estos observadores inerciales formulan tienen que ser invariantes bajo las transformaciones de Galileo (respecto a las relaciones entre sus resultados), y cumplir con las restricciones que imponen en su forma las simetrías correspondientes al espacio y tiempo. Estas forman un grupo, llamado el Grupo de Galileo: grupo de simetrías de la MC.

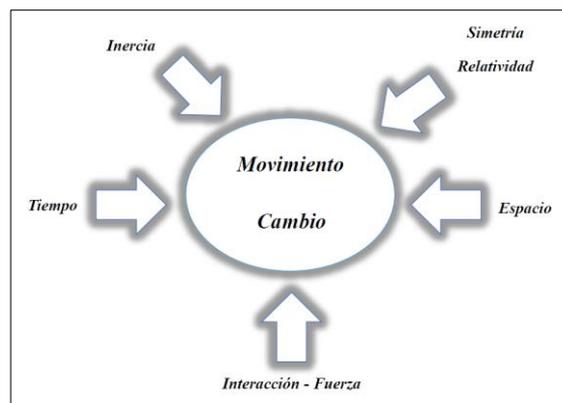


FIGURA 1. Análisis de una teoría a través de los conceptos estructurantes.

#### A. Extensión de los conceptos involucrados

El verdadero punto de partida de Einstein fue la incompatibilidad de la MC, la Teoría Electromagnética de Maxwell (TEM) y el PRC. La MC y la TEM tienen grupos de simetría diferentes, mientras el PR dice en grandes líneas que todas las teorías físicas deberían tener el mismo grupo.

La solución de Einstein a este problema teórico, la TRE, es una reformulación de la MC en términos del Grupo de Lorentz, el grupo de simetría de la TEM. Si todos los SRI son equivalentes y todos los observadores inerciales ven la misma física (no solo la Mecánica, sino a la Física entera, incluidos el Electromagnetismo y la Óptica), entonces todos ellos deben llegar a las mismas leyes. En otras palabras, extiende el PR a toda la Física e introduce un segundo principio de invariabilidad de la velocidad de la luz, según el cual la velocidad de la luz en el vacío es constante e independiente del estado de movimiento del observador. Llevar estos dos postulados hasta sus últimas consecuencias implica abandonar las ideas intuitivas del espacio y el tiempo. Es más, la Teoría de Gravitación Universal (TGU), tal como fue propuesta por Newton, no era compatible con la estructura del espacio y el tiempo que surge de la TRE. Einstein formuló una nueva versión de TGU, a través de la TRG, que esencialmente la convierte en una Teoría de Campos. La interacción gravitatoria ya no es instantánea y a distancia, sino a través de un campo intermediario por el cual la interacción-fuerza gravitatoria se propaga con velocidad finita. Lo revolucionario de la RG es la identificación de este campo intermediario con la *métrica*, un objeto matemático que describe las propiedades geométricas del espacio, induce por lo tanto a una profunda relación entre la gravedad y la curvatura del espacio-tiempo.

#### IV. CONSIDERACIONES FINALES

Al pensar en los muchos desafíos que tenemos por delante, debemos pensar en el entorno en el que aprenden nuestros estudiantes, en sus ideas, en las situaciones a las que están expuestos y a la gran cantidad de información que tienen a su alcance.

La Teoría de la Relatividad (TR) nos presenta cuestiones sobre las cuales se debe reflexionar. Por un lado, la TRE ha eliminado los conceptos del espacio absoluto, del tiempo absoluto y de la velocidad absoluta, por no ser observables. Mientras que la TRG ha incorporado en la Física el concepto del espacio-tiempo dinámico, como una entidad física real: ha pasado de ser un escenario estático donde ocurren los fenómenos físicos a ser una parte más de ellos que influye en lo que contiene y puede ser influenciado por ello. En consecuencia, nos enseña que una buena teoría física tiene que hacer algo más que simplemente reproducir los resultados experimentales de un observador, debería poder hacerlo para cualquiera de ellos. Lo que resulta curioso, desde nuestro punto de vista educativo moderno postrelativista, es que el PR, que es fundamental en el desarrollo de la TR, vea disminuida su importancia en la enseñanza de la MC. Se mencionan las transformaciones de Galileo en cualquier curso de Física general, aunque más bien de manera anecdótica y sin un desarrollo posterior.

Aprender es adquirir la información útil. Solo conociendo las raíces propias del referencial teórico y anticipándonos a las posibles dificultades de comprensión de los estudiantes podremos utilizar y coordinar una serie de estrategias para facilitar el aprendizaje.

#### REFERENCIAS

- Addad, R. y Rosolio, A. (2019). El carácter relativo del movimiento. *Revista de Enseñanza de la Física*, 30(Extra), 7-14.
- Addad, R., Llonch, E., D'Amico, H. y Rosolio, A. (2011). Relatividad Clásica: dificultades en el estudio del movimiento. *Memorias XVII Reunión Nacional de Educación en la Física*, 19-23 de septiembre, Villa Giardino, Córdoba, Argentina.
- 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., Llonch, E., Rosolio, A. y Sánchez, P. (2013). Relatividad Clásica: dificultades en el estudio del movimiento II. *Memorias XVIII Reunión Nacional de Educación en Física*, 15-18 de octubre, San Fernando del Valle de Catamarca, Catamarca, Argentina.
- Addad, R. (2015). Relatividad Clásica: conceptos básicos. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27(Extra), 653-659.
- 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.
- Collins S. y Stockton C. (2018). The Central Role of Theory in Qualitative Research. *International Journal of Qualitative Methods*, 17, 1-10.
- Kalyan, D. (2016) On Primitive Notions as Foundation of Physics, *International Journal of Theoretical and Mathematical Physics*, 6(4), 123-129. DOI: 10.5923/j.ijtmp.20160604.03
- Markham, K. y Mintzes, J. (1994). The concept map as a research and evaluation tool: Further evidence of validity. *Journal of Research in Science Teaching*, 31(1), 91-101.
- Martínez A. (2005). Conventions and inertial reference frames, *American Journal of Physics*, 73(5), 452-454.
- Ohanian, H. C. (2004). The role of dynamics in the synchronization problem, *American Journal of Physics*, 72, 141–148.
- Wigner, E. P. (1949). Invariance in Physical Theory. *American Philosophical Society*, 93(7), 521–26. <https://www.jstor.org/stable/3143140>
- Winther, R. G. (2021), The Structure of Scientific Theories. En E. N. Zalta (Ed.), *The Stanford Encyclopedia of Philosophy (Spring 2021 Edition)*. <https://plato.stanford.edu/archives/spr2021/entries/structure-scientific-theories/>