

Tesis de Doctorado en Enseñanza de las Ciencias mención física, Facultad de Ciencias Exactas, UNICEN. Argentina.

Enseñanza de conceptos básicos de la Teoría Especial de la Relatividad en la escuela secundaria colombiana.

Autor: Dr. Edwin Alberto Muñoz Guzmán

Directora: Dra. Maria Rita Otero (UNICEN-CONICET Argentina)

Codirector: Dr. Marcelo Arlego (UNICEN-CONICET Argentina)

Jurado

Dr. Rodrigo Covaleda (UDEA Colombia)

Dra. Patricia Sureda (UNICEN-CONICET Argentina)

Dra. Fabiana Prodanoff (UNLP, Argentina)

Fecha defensa: 11 de Diciembre de 2020

Esta tesis es parte de un proyecto de investigación que adopta una concepción desarrollista y pragmática de la conceptualización basada en la Teoría de los Campos Conceptuales (Vergnaud, 2013). Se ha diseñado, implementado y evaluado una secuencia didáctica y sus continuas reformulaciones para enseñar las nociones fundamentales de la TER en la escuela secundaria y estudiar la conceptualización (Otero & Arlego, 2016, 2018, Arlego & Otero, 2017; Otero, Arlego & Muñoz, 2016, 2018, 2019).

Los estudios previos reportan que los estudiantes no comprenden el concepto de sistema de referencia y confunden el "sistema de referencia" con el "punto de vista", así, cada observador constituiría un marco de referencia distinto (Scherr 2001). Los estudiantes tendrían una concepción pre-galileana del movimiento, al que consideran absoluto (Dimitriadi & Halkia, 2012). Estas ideas sobreviven a la enseñanza escolar de la cinemática clásica, y cuando se intenta enseñar la cinemática relativista, se busca que los estudiantes tomen conciencia de la ruptura conceptual entre la física newtoniana y la moderna (Villani y Arruda, 1998).

El trabajo de investigación presentado en la tesis pretende identificar cómo el proceso de conceptualización de las nociones básicas de la teoría especial de la relatividad (TER) es favorecido por el abordaje previo de las nociones de la cinemática clásica, (Sistemas de referencia, velocidad relativa, adición de velocidades de galileo, principio de relatividad Galileano) y, por el estudio amplio de la noción de simultaneidad. Para ello se propone analizar en

profundidad la actividad de los estudiantes en situación de clase, mediante la inferencia inductiva de los invariantes operatorios considerados como la forma predicativa del conocimiento, y así deducir cómo los estudiantes hacen frente a las tareas que les son asignadas a partir en situaciones cotidianas, forma operatoria del conocimiento.

La investigación se realiza en dos dimensiones, en la dimensión cognitiva, se pretende identificar cómo el proceso de conceptualización de las nociones básicas de la TER es favorecido por el abordaje previo de las nociones de la cinemática clásica y por el estudio amplio de la noción de simultaneidad.

Para determinar las nociones tratadas en la secuencia de situaciones, se propone una estructura conceptual de referencia (ECR) (figura 1), partiendo de la inexistencia de un sistema de referencia único. El saber "sabio" de la física no es la referencia absoluta y obligada que "legítima" la física escolar, o la física propuesta para ser enseñada en la escuela. A partir de lo anterior, es menester construir y establecer una referencia desde la cual sea factible "mirar los hechos didácticos" (Otero, 2019).

Los elementos principales de la ECR se sintetizan en la figura 1. Como puede observarse el concepto de simultaneidad juega un rol central. La razón de ello es que, la simultaneidad ofrece el camino más directo hacia la relatividad de Einstein.

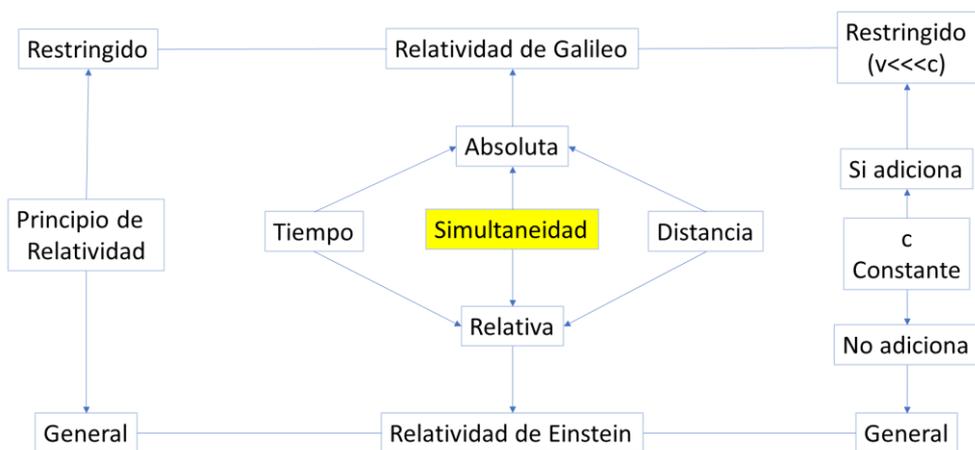


Figura 1. Estructura conceptual de referencia propuesta para estudiar la TER en la básica secundaria.

La estructura ilustra la preparación hacia la relatividad de la simultaneidad. Primero se discute y analiza la simultaneidad como concepto absoluto, en un contexto ordinario de bajas velocidades, llevando ello a requerir las herramientas de la cinemática clásica y la relatividad galileana. En este marco, el tiempo y la distancia también son conceptos absolutos, alrededor de los cuales, junto con el de sistema de referencia, se construye el concepto de movimiento.

El marco galileano descansa sobre dos conceptos fundamentales para nuestra estructura. A la derecha se encuentra la adición de velocidades y a la izquierda el principio de relatividad. Ambos son conceptos restringidos en el marco galileano, como se indica en los vértices superiores de la figura 1.

La transición a la relatividad de Einstein se presenta cuando posterior a considerar la simultaneidad como absoluta se le coloca en duda al vincular la velocidad de la luz como una constante, este quiebre cognitivo permite tratar las consecuencias de la aplicación de los postulados de la TER la dilatación del tiempo y la contracción de la longitud

A partir de la estructura conceptual de referencia se plantea la secuencia de situaciones como instrumento didáctico que permitió la enseñanza de las nociones básicas de la TER en la escuela secundaria.

De manera paralela, la investigación estudia la enseñanza de las nociones propuestas, definida como la dimensión didáctica, donde se identifica el funcionamiento de la secuencia de situaciones, diseñada por Otero y Arlego (2016) al implementarse en cuatro cursos ($n=128$ estudiantes), con ello, se pretende identificar los aspectos necesarios a modificar o incluso suprimir de dicho dispositivo.

La investigación es cualitativa, de corte exploratorio y de carácter etnográfico. Se realiza observación participante y no participante. Se busca construir una importante base empírica para validar los Invariantes Operatorios (IO) que emergen en los distintos momentos de la situación. Se intenta describir en profundidad la actividad y la conceptualización en situación de clase, de los estudiantes de cuatro cursos de último año de la básica secundaria, cuando se implementa la secuencia.

La secuencia de situaciones como dispositivo didáctico, ha sido implementada siguiendo en forma general los

siguientes aspectos: se comienza por un acuerdo de estudio y compromiso escrito y firmado entre el docente y los estudiantes en el que se acuerda entre varios aspectos sobre el compromiso por la participación activa y la continua evaluación, así como la aceptación del otro en la convivencia, lo cual implica asumir la responsabilidad en aprendizaje de uno y del grupo durante el desarrollo de las situaciones. Para cada situación el equipo de enseñanza se reúne y anticipa su funcionamiento, la actividad de los estudiantes y del profesor, los posibles IO que se pondrán en juego, los obstáculos conceptuales, y las devoluciones que realizará el profesor para ayudar a los estudiantes a sortear las dificultades presentadas. Los estudiantes se reúnen en grupos de hasta cinco integrantes. En el desarrollo de cada situación pueden distinguirse tres instancias fundamentales: una primera discusión dentro de cada grupo sobre lo que conocen acerca del problema planteado, se requiere siempre una predicción de los estudiantes que es previa al tratamiento físico y matemático de la situación. Se requiere que esta predicción se realice por escrito y luego se difunda entre los grupos, generando correcciones en las conclusiones al interior de los mismos.

Luego los estudiantes exponen sus respuestas, conclusiones y justificaciones en los sistemas de representación que decidan, puedan utilizar (verbalizaciones orales y escritas, dibujos, ecuaciones, tablas) y argumentan en la puesta en común, donde se discuten cuáles son las ideas más apropiadas y el por qué. En esta etapa puede intervenir el profesor, de ser necesario, aunque es interesante observar que los estudiantes resultan empoderados y se sienten valorizados cuando sus ideas y su discurso son reconocidos en la clase en un pie de igualdad con cualquier otro discurso dentro de ella (profesor, libros) Finalmente, los estudiantes entregan su trabajo escrito, ellos documentan y escriben separando las respuestas propias de las que tomaron del grupo o de la puesta en común. Los protocolos se recogen clase a clase, se digitalizan, y se restituyen a los estudiantes en la clase próxima. Además, se toman audios generales de las puestas en común.

La investigación plantea, la inferencia de manera inductiva, de los IO (forma predicativa del conocimiento) con los cuales se pretende deducir la forma como los estudiantes hacen frente a las tareas que les son asignadas a partir en situaciones cotidianas (forma operatoria del conocimiento). Con los IO identificados se construyeron 42 categorías con

sus respectivas subcategorías y a partir de estas, se realiza el análisis cualitativo de cada una de las situaciones y etapas que componen dicha secuencia. Los IO se infieren desde los protocolos (1.280) que elaboran los estudiantes, así como desde los audios (40 horas) tomados en cada uno de los encuentros.

En definitiva para la dimensión cognitiva, los resultados indican cómo la noción de simultaneidad ofrece un camino más directo para pasar desde relatividad de galileo hacia la relatividad de Einstein. Por tanto, antes de poder abordar la relatividad de la simultaneidad y las nociones básicas de la TER, se requiere las herramientas de la cinemática clásica y la relatividad galileana, algo totalmente inusual en la enseñanza de la relatividad, debido a la suposición común del dominio de dicho conocimiento por los estudiantes.

De manera paralela, la investigación estudia la enseñanza de las nociones propuestas, definida como la dimensión didáctica, donde se identifica el funcionamiento de la secuencia de situaciones, diseñada por Otero y Arlego (2016) y, las reformulaciones propuestas, de allí se logra identificar los aspectos necesarios a modificar o incluso suprimir de dicho dispositivo.

En conclusión, la dimensión didáctica señala como, las reformulaciones realizadas a la secuencia de situaciones, permiten que los IO necesarios emerjan y facilitan el estudio de la noción de simultaneidad, avanzando así en la conceptualización de las nociones básicas de la TER con estudiantes de último año de la básica secundaria. Por tanto, el desarrollo de la génesis propuesta en el dispositivo didáctico, el estudio de las nociones enmarcado en situaciones cotidianas y el rescate de la adición de velocidades galileana, pasada por alto en los planes de estudio de la física en Colombia, resulta fundamental.

Así mismo, sería importante evitar reducir la cinemática al tratamiento matemático de las ecuaciones horarias del MU y del MRUV, se deben proponer situaciones físicas cotidianas y considerar en estas, las nociones de relatividad galileana, SR, observador y adición de velocidades.

Solo tomando conciencia de la adición de velocidades galileana en los movimientos con los que tratamos cotidianamente, y fortaleciendo las nociones básicas acá tratadas, los estudiantes podrán comprender las sorprendentes consecuencias de su abandono en situaciones como la pérdida de la simultaneidad para el abordaje de la TER.

REFERENCIAS

Arlego, M. & Otero, M. R. (2017). Teaching basic special relativity in high school: the role of classical kinematics. *International Journal of Physics and Chemistry Education*, 9(1), 9-12.

Dimitriadi, K. & Halkia, K. (2012). Secondary Students' Understanding of Basic Ideas of Special Relativity. *International Journal of Science Education*, 34(16), 2565–2582. DOI: 10.1080/09500693.2012.705048

Otero, M. R. (2019). Competencias ¿ Para qué? Tandil, Argentina.: Universidad Nacional del Centro de la Provincia de Buenos Aires.

Otero, M.R., Arlego, M. y Muñoz Guzmán, E.A. (2019). ¿Cómo y por qué estudiar la relatividad de la simultaneidad en la escuela secundaria? *Góndola, Enseñanza y Aprendizaje de las Ciencias*, 14 (2), 303-321. DOI:<http://doi.org/10.14483/23464712.13929>

Otero Maria Rita; Arlego Marcelo. (2018). Relativity of simultaneity in secondary school: an analysis based on the theory of the conceptual fields. *REVIEW OF SCIENCE, MATHEMATICS and ICT EDUCATION*, 12(1), 61-83. Recuperado a partir de <file:///C:/Users/stargazer/Desktop/otero y arlego relatividad de la simultaneidad.pdf>

Otero, M.R., Arlego, M.; Muñoz, E. (2018) Relativity of the simultaneity in high school: an analysis based on the Theory of the Conceptual Fields. In *TEACHING/LEARNING PHYSICS INTEGRATING RESEARCH INTO PRACTICE GIREP MPTL*, San Sebastián, España.

Otero, M. R. y Arlego, M. (2016). Secuencia para enseñar la Teoría Especial de la Relatividad en la Escuela Secundaria. Argentina: UNICEN.

Otero, M. R., Arlego, M. y Muñoz, E. (2016). Enseñanza de la Relatividad Especial básica en la escuela secundaria: una secuencia didáctica basada en la teoría de los campos conceptuales. En *Actas del 2do. Congreso Internacional de Enseñanza de las Ciencias y la Matemática y 3er. Encuentro Nacional de Enseñanza de la Matemática*, pp. 428-434.

Scherr, R. E. (2001). An investigation of student understanding of basic concepts in special relativity (Tesis Doctoral, University of Washington, Washington, Estados Unidos). Recuperado de <https://digital.lib.washington.edu/researchworks/handle/1773/9681>

Vergnaud, G. (2013). Pourquoi la théorie des champs conceptuels? *Recherche en Didactique des Mathématiques*, 10(2), 131-161.

Villani, A. & Arruda, S. M. (1998). Special Theory of Relativity, Conceptual Change and History of Science. *Science & Education*, 7(1), 85-100. DOI: 10.1023/A:1008609018266