

Actas IV Jornadas de Enseñanza e Investigación Educativa en el campo de las Ciencias Exactas y Naturales  
Facultad de Humanidades y Ciencias de la Educación. Universidad Nacional de La Plata

---

## MODELO COGNITIVO SOBRE FENÓMENOS RELATIVÍSTAS DE ALUMNOS DE TRES NIVELES EDUCATIVOS

*PÉREZ PEÑA, RICARDO<sup>1</sup>; RODRÍGUEZ-PINEDA, DIANA PATRICIA<sup>2</sup>*

<sup>1,2</sup> Universidad Pedagógica Nacional, Carretera al Ajusco No. 24 Col. Héroes de Padierna,  
México, D. F., C.P. 14200.

<sup>1</sup> ricperezp1235@gmail.com,

<sup>2</sup> dpineda@upn.mx

### RESUMEN

En el campo de Educación en Ciencias existe una línea de investigación respecto al desarrollo curricular, donde hay esfuerzos en torno al diseño, implementación y evaluación de estrategias didácticas (ED). El presente trabajo tiene como meta elaborar una ED sobre la Teoría de la Relatividad Especial (TRE) a nivel universitario, a partir de la visión de modelos y la modelización, para lo cual se requiere homogeneizar el pensamiento del alumnado, el currículum y el objeto de enseñanza mediante el uso de modelos. Las razones para elegir la TRE surgen del deseo de mejorar la educación en ciencias, especialmente en temas que presentan dificultad por no ser cotidianos. Sumado a la importancia que tiene formar una comunidad -en cada país- capaz de abordar, discutir y desarrollar temas de frontera. En esta contribución presentamos el modelo cognitivo de los estudiantes sobre un fenómeno relativista, el cual se infirió a partir de las ideas previas del alumnado, identificadas en la literatura especializada. En el modelo -inferido- de los alumnos no existe conexión causal entre sus elementos, y el alumnado mantiene una visión Newtoniana para explicar los fenómenos relativistas, además confunden la nueva información con la que ya tienen.

**Palabras clave:** modelo cognitivo, teoría especial de la relatividad, modelos, modelización, educación en ciencias.

## INTRODUCCIÓN

Dentro del campo de Educación en Ciencias actualmente se realizan trabajos en torno al diseño, desarrollo y evaluación de estrategias didácticas, desde el enfoque de modelos para facilitar la modelización de fenómenos estudiados por la ciencia. La metodología propuesta para este desarrollo curricular, consiste en la construcción de una herramienta teórica-metodológica que sirva de guía en este proceso; ésta radica en lo que López-Mota y Rodríguez-Pineda (2013) han denominado el Modelo Científico Escolar de Arribo (MCEA), cuya construcción implica en primer lugar, la identificación de un fenómeno explicado por la ciencia, a través de modelos elaborados por los científicos, al cual se le llama Modelo Científico Erudito (MCE). Por tanto es necesario identificar el MCE que sirve de referencia y también se requiere conocer la manera de pensar de los estudiantes sobre dicho fenómeno, la cual se expresa en el Modelo Cognitivo (MC), el cual puede ser inferido de la literatura especializada de ideas previas (López-Mota y Rodríguez-Pineda, 2013). Mediante el MCEA se orienta el diseño de la Estrategia Didáctica (ED). Como primera etapa para el diseño de la ED, se infirió el MC de los estudiantes a partir de la búsqueda de ideas previas en revistas especializadas, además que se fundamentó el MCE, ambos sobre un fenómeno de la TRE, lo cual se reporta en este trabajo.

## ANTECEDENTES Y PROBLEMA

La preocupación por la Educación en Ciencias tuvo mayor auge a partir de la década de los 80 sobre todo en los Estados Unidos; aunque debe admitirse que lo anterior fue una respuesta a la carrera armamentista y tecnológica con la ex Unión Soviética. También es de destacar el desarrollo en países como Alemania que como muestra del avance de sus universidades a principios del siglo XX incorporaron la enseñanza de desarrollos científicos en ese entonces recientes, como es el caso de la Teoría de la Relatividad que fue introducida por Max Planck un año después de su publicación, en 1905 por Albert Einstein, en la universidad de Berlín (Universidad del País Vasco, 2000).

Durante la década de los 80 se dio gran importancia a la investigación sobre ideas previas que repercutió en el desarrollo de este campo. Entre otras cosas a partir de estos trabajos fue posible cuestionar la enseñanza tradicional de las ciencias como una mera transmisión de conocimientos, en la que comúnmente se piensa solamente es necesario conocer los temas a enseñar y tener experiencia para desarrollar esta actividad. Otra de las aportaciones a mencionar es la incorporación -con gran aceptación- de visiones sobre el aprendizaje como el constructivismo, y elementos como la historia y la filosofía de las ciencias, además que se han generado nuevas propuestas de enseñanza (Gil, 1994).

La estrategia didáctica sobre la Teoría de la Relatividad Especial estará situada a nivel universitario, en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM), en el curso de Electromagnetismo I del cuarto semestre de la carrera de física. Las razones para elegir la Teoría de la Relatividad surgen del deseo de mejorar la educación de las ciencias, sobre todo en temas que presentan dificultad por no tener fenómenos que nos permitan hacer cotidianas las experiencias que describe esta teoría. Además permite contextualizar la aceptación de la Teoría de la Relatividad a partir de su publicación en 1905 en distintos países para promover un cambio en la enseñanza de las ciencias a nivel universitario. Lo anterior se fundamenta en el planteamiento de Glick (1987), quien afirma que la recepción de la Teoría de la Relatividad estuvo ligada a la estructura profesional de la comunidad científica de los países, y del desarrollo de disciplinas como la física, la matemática, y la astronomía. Glick (1987) también afirma que se pueden presentar dos formas en la aceptación de una teoría: activa y pasiva.

En la recepción activa los miembros de una disciplina tienen acceso directo a las nuevas ideas; además existe suficiente madurez del campo sumado a una comunidad con un buen número de personas para que sea posible la discusión de las ideas, e instituciones para propagar las mismas. De esta forma los grupos generalmente contribuyen al futuro desarrollo del conocimiento con su propia investigación. Por otro lado en la aceptación pasiva no se tiene contacto directo con los desarrollos científicos y depende de traducciones para seguir los avances en el campo, por lo que se presentan atrasos temporales y cognitivos para asimilar los nuevos conceptos. Ambos modos de asimilación pueden relacionarse de forma más amplia con el contexto social a través de la estructura de los sistemas educativos Glick (1987).

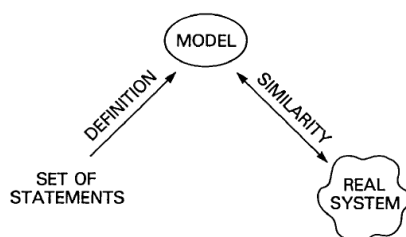
## MARCO TEÓRICO

### **La visión de ciencia desde la perspectiva de modelos.**

La ciencia es una actividad en la que se producen conocimientos, para esto los científicos representan al mundo a través de teorías; entonces es necesario pensar en cómo se generan las teorías y por la utilización de las mismas para representar el mundo. Giere (1988) plantea que los científicos al ser seres humanos generan representaciones a través de modelos.

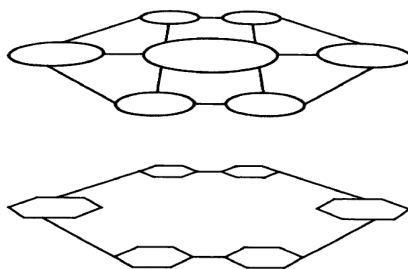
En la propuesta de Giere (1988) la relación entre modelos teóricos y lo que es un modelo, se requiere del concepto de hipótesis teórica, que se superpone con el término utilizado por los científicos. Una hipótesis teórica es una entidad lingüística, una declaración que afirma algún tipo de relación entre un modelo y un sistema real, esta es verdadera o falsa de acuerdo al tipo y grado de similitud existente entre un modelo y un sistema, por lo que se puede prescindir de algún criterio de verdad y concentrarse en los detalles de similitud, entonces una teoría de la verdad no es prerequisite para una teoría de la ciencia adecuada.

Giere (1988) destaca que no existe una relación directa entre las declaraciones científicas y el mundo real, la relación es de similitud entre los modelos y los sistemas reales y requiere de las hipótesis teóricas, que son entidades lingüísticas. Esta correspondencia se da entre dos objetos, uno abstracto y el otro real. La relación es indirecta a través de la mediación de los modelos teóricos.



*Figura 1. Relación entre las declaraciones, los modelos y los sistemas reales  
(Giere, 1988, p. 83)*

Por otro lado se entiende la composición de una teoría por una población de modelos y varias hipótesis que enlazan estos modelos con los sistemas en el mundo real, esquematizado del siguiente modo.



*Figura 2. Esquemización de una teoría formada por una familia de modelos y su relación con los sistemas reales (Giere, 1988, p. 85)*

Las elipses en la Figura 2 representan modelos, los enlaces entre los modelos son relaciones de similitud. La relación entre los modelos y el mundo real, en la parte de abajo de la figura 2, son relaciones de similitud entre el modelo completo y algunos sistemas reales. Los elementos utilizados para definir los modelos no aparecen en la imagen y tampoco las entidades lingüísticas como pueden ser las ecuaciones.

Lo que determina si un modelo es apropiado a una teoría es que estos deben soportar una similitud para formar familias de modelos. En los modelos no existen criterios para determinar si un modelo se asemeja a los demás, lo cual es decidido por los miembros de la comunidad científica. El juicio colectivo de los científicos determina si la semejanza es suficiente. Esta es una de las consideraciones por las cuales las teorías se considera que son socialmente construidas, por lo anterior este enfoque presenta muchas ventajas para ser aplicado en la enseñanza de las ciencias.

### **Estrategias didácticas desde la perspectiva al modelización.**

Con el objetivo de lograr que los alumnos construyan sus propios modelos explicativos, se hace necesario diseñar estrategias didácticas que faciliten la modelización de dichos fenómenos, que también son explicados por la ciencia. Con esa finalidad se debe construir el MCEA que permite orientar el diseño y la evaluación de la ED.

La construcción del MCEA requiere en primer lugar la detección de un fenómeno estudiado por la ciencia en vez de la simple enunciación de un tema de estudio, por ejemplo “contracción de la longitud y dilatación del tiempo en la TRE”. Lo anterior se realiza mediante el análisis del Modelo Curricular. A su vez debe tomarse en cuenta la manera de pensar de los estudiantes a través del MC. Entonces la modelización que realicen los alumnos será el proceso mediante el cual transiten del MC inicial, a un modelo más avanzado y que describa con mayor precisión el fenómeno que se haya elegido. Así, el propósito de la estrategia didáctica es orientar dicha construcción y evaluar el Modelo Alcanzado (MA), el cual se espera que se más cercano al MCEA (López-Mota y Rodríguez-Pineda, 2013).

## **METODOLOGÍA**

Para identificar el fenómeno explicado por la Teoría de la Relatividad Especial (TRE), se revisó literatura especializada del campo en educación en ciencias que hace referencia tanto a la enseñanza como al aprendizaje de la TRE. En esta búsqueda se encontraron varios artículos en torno al tema antes mencionado. Las revistas consultadas fueron: American Journal of Physics, International Journal of Physics, Journal of Baltic Science Education, Physics Education, Science and Education, Science Education, The Physics Teacher y la Revista Española Enseñanza de las Ciencias. Adicionalmente se consultaron libros de texto de nivel

universitario y otros más avanzados sobre la TRE (Rahaman, 2004; Ferraro, 2007; Schutz, 2009; Tsamparlis, 2010; Ashtekar y Petkov, 2014).

A partir de la revisión de la literatura, se realizó una depuración de los artículos buscados y se halló que sólo once de ellos dan cuenta de diez investigaciones en torno a las ideas previas de los alumnos, los cuales pertenecen a cinco niveles educativos (Tabla 1).

| Nivel                | Especialidad                          | Investigación   |
|----------------------|---------------------------------------|---|
| Secundaria           | -                                     | Dimitriadi y Halkia, 2012   |
| Preparatoria         | -                                     | Arriasecq y Greca, 2012; Alemañ y Pérez, 2000   |
| Licenciatura         | Física                                | Pietrocola y Zylbersztajn, 1999; Toledo, Arriasecq y Santos, 1997; Scherr, Shaffer y Vokos, 2001 y 2002 |
|                      | Ingeniería                            | Guisasola, Barragues, Morentin y Moreno, 2009   |
|                      | Profesores de ciencias (preparatoria) | Selçuk, 2011; Tanei, 2014   |
|                      | Profesores de física (preparatoria)   | Scherr, Shaffer y Vokos, 2001 y 2002; Toledo, Arriasecq y Santos, 1997; Selçuk, 2011; Tanei, 2014       |
| Maestría y Doctorado | Física y Educación en Ciencias        | Villani y Pacca, 1987   |

*Tabla 1: Artículos hallados que contienen ideas previas sobre la Teoría de la Relatividad Especial.*

La información contenida en los once artículos de la Tabla 1, fue organizada con la finalidad de sistematizarlos. La sistematización hizo posible detectar seis categorías, es decir asuntos, que permiten agrupar las ideas previas y que servirán para establecer categorías de análisis al realizar la intervención didáctica.

## RESULTADOS

A continuación, se definen las categorías identificadas para agrupar las ideas previas encontradas en la literatura:

**La masa:** idea de lo que es la masa relativista de un cuerpo que se mueve a velocidades comparables con la velocidad de la luz,  $c$ .

**El tiempo y la dilatación del tiempo:** definiciones del tiempo dadas por los estudiantes y las ideas que presentan sobre la dilatación del tiempo que detecta un observador en reposo, respecto a un observador que se mueva con una velocidad comparable con  $c$ .

**Simultaneidad:** la simultaneidad de eventos descrita por la mecánica clásica se vuelve relativa en la TRE. Por ejemplo, dos eventos que sean simultáneos para un observador en reposo, dejaran de serlo para un observador que se mueve con velocidades comparables con  $c$ . En esta categoría se recogen las ideas que tienen los estudiantes acerca de la simultaneidad.

**El espacio y la contracción de las longitudes:** dos observadores, uno en reposo y otro moviéndose con velocidades comparables con  $c$ , registran distintas longitudes de un mismo objeto.

**Sistemas de referencia y observadores:** ideas acerca de lo que es un sistema de referencia y un observador.

**La luz y su velocidad:** el segundo postulado de la TRE es que la velocidad de la luz,  $c$ , es invariante para todos los sistemas de referencia inerciales en el vacío ( $c=300000000 \text{ m/s}$ ). En esta categoría entran las ideas relacionadas con el comportamiento de la luz en situaciones descritas por la TRE.

Dentro de las categorías antes mencionada se obtuvieron varias ideas previas acerca de algún fenómeno explicado por la TRE, o bien acerca de algunos elementos presentes en esta teoría. Estas ideas o elementos que expresan los estudiantes se analizaron y se logró sintetizarlos del siguiente modo:

**La masa:** se cree que un cuerpo tiene dos masas distintas, una en reposo y otra en movimiento (Selçuk, 2011).

**El tiempo y la dilatación del tiempo:** en algunos casos los alumnos no pueden definir qué es el tiempo y sólo tienen ideas vagas de los contextos en los que se usa. Mientras que para la dilatación del tiempo se utilizan analogías con fenómenos clásicos para explicar este fenómeno, se aducen fallas en los aparatos de medición del tiempo, compensaciones para que distintos observadores registren lo mismo y por último se tiene una idea del tiempo como algo absoluto, que es la concepción clásica (Villani y Pacca, 1987; Selcuk, 2011; Alemañ y Pérez, 2000; Arriassecq y Greca, 2012; Dimitriadi y Halkia, 2012).

**Simultaneidad:** la visión sobre simultaneidad está en desacuerdo con la TRE y se argumenta que la simultaneidad relativa se debe más bien a que los observadores no se ponen de acuerdo (Arriassecq y Greca, 2012).

**El espacio y la contracción de las longitudes:** existen dificultades para definir qué es el espacio, se niega la contracción de la longitud o se adjudica a efectos ópticos; también se trata de explicar la contracción de la longitud utilizando razonamientos de la mecánica clásica (Villani y Pacca 1987; Alemañ y Pérez, 2000; Selcuk, 2011; Arriassecq y Greca, 2012; Dimitriadi y Halkia, 2012).

**Sistemas de referencia y observadores:** se entiende como observador al que registra los fenómenos de manera objetiva y se confunde al observador con el sistema de referencia. Por ejemplo si se tiene una nave espacial y un observador dentro de ella, los alumnos tratan indistintamente al sistema que se mueve y al observador como lo mismo. También se asume que los sistemas de referencia siguen el principio de relatividad galileano que corresponde a la mecánica clásica, y afirman que los sistemas en reposo son sistemas privilegiados (Pietrocola y Zylbersztajn, 1999; Alemañ y Pérez, 2000; Arriassecq y Greca, 2012; Dimitriadi y Halkia, 2012; Guisasola, *et al.*, 2009).

**La luz y su velocidad:** se tiene un idea equivocada de lo que significa la invarianza de la velocidad de la luz (la velocidad de la luz es  $c$  para todos los sistemas de referencia inerciales) y también se detecta que pueden pensar que la velocidad de la luz puede no tener límites en su valor (Villani y Pacca, 1987; Pietrocola y Zylbersztajn, 1999).

Además de las categorías anteriores, algunas investigaciones reportan que en los alumnos hay cierta interferencia entre cuestiones que conocen acerca de la TRE con su experiencia

cotidiana. En algunos casos aceptan la TRE debido a la autoridad de científicos como Einstein y también porque está en los libros; pero no entienden las consecuencias que establece esta teoría (Toledo, *et al.*, 1997; Pietrocola y Zylbersztajn, 1999; Alemnañ y Pérez, 2000).

Las ideas previas reportadas en cada artículo se obtuvieron en la mayoría de los casos con el planteamiento de situaciones a los alumnos, referentes a la TRE. Estas situaciones son muy diversas y no hay homogeneidad en ellas, razón por la cual el MC, puede ser muy amplio y por esta razón se planteó un fenómeno de manera general -esquemático en la Figura 3-, el cual puede ser definido de la siguiente manera:

*“Un evento -el movimiento de un objeto con dimensiones finitas, detección de una señal luminosa, etc.- que sucede dentro de un sistema de referencia que está en movimiento, el cual es registrado por dos observadores situados en sistemas de referencia inerciales, de los cuales -por simplicidad- uno está en reposo y el otro se mueve con una velocidad comparable a la velocidad de la luz, por ejemplo  $c/2$ ”.*

### **Modelo Cognitivo.**

Con la finalidad de obtener el Modelo Cognitivo (MC) de los estudiantes acerca del fenómeno generalizado se identificaron los elementos o entidades que permiten dar cuenta del fenómeno, las propiedades de estos elementos, las relaciones existentes entre ellos y las condiciones que el modelo debe cumplir para poder explicar el fenómeno en cuestión. A continuación se explicitan los elementos, propiedades y relaciones del MC:

#### **Elementos:**

- Sistemas de Referencia.
- Observadores.
- Tiempo.
- Espacio: como el lugar que ocupan los cuerpos.
- Elementos/Objetos con: dimensiones, masa.
- Luz: la luz aunque entra dentro de la categoría de elementos se diferencia por la importancia que tiene para la TRE.

#### **Propiedades:**

- Los sistemas de referencia y los observadores parecen ser lo mismo para algunos estudiantes, ya que invariablemente usan uno u otro.
- Los observadores son objetivos, es decir que su manera de registrar eventos o realizar mediciones es apegada a la forma en que lo hacen los científicos.
- Los sistemas de referencia son Galileanos, es decir que siguen el principio de la relatividad de la mecánica clásica.
- Existen los sistemas de referencia privilegiados, es decir que es posible encontrar un sistema de referencia que este en reposo respecto a los demás sistemas de referencia, y en este sistema se pueda determinar el movimiento relativo de los demás.

#### **Relaciones:**

La única relación que quedan patentes en las ideas previas es que los observadores son los que detectan los eventos, miden cantidades como velocidad, longitud y tiempo.

#### **Condiciones:**

Los alumnos no mencionan condiciones para que se presenten fenómenos como: contracción de la longitud, dilatación del tiempo, simultaneidad relativa, masa relativista.

En este punto es pertinente preguntarse si las ideas previas reportadas en los artículos antes mencionados son útiles por sí solas para elaborar el modelo de los estudiantes, ya que dichos trabajos no cuestionan a los alumnos específicamente sobre las relaciones de los elementos y sobre las condiciones. Entonces parece pertinente pensar que sería más útil recabar las ideas previas teniendo en mente la visión de modelos y no la de cambio conceptual, a la que están adheridas las investigaciones mencionadas.



Figura 3. Esquema del modelo escolar o modelo de los alumnos. En este modelo los observadores no se distinguen por que básicamente ven los mismo (los alumnos aducen compensaciones para que los fenómenos no cambien).

## CONCLUSIONES

El modelo cognitivo es un instrumento de gran utilidad para la enseñanza de las ciencias, que debe seguir siendo explotado y lo mejor sería tener cada vez más estudios al respecto. Con este tipo de trabajos se abre la posibilidad de realizar otros y de indagar directamente en el aula los modelos cognitivos de partida, para el diseño de las ED, desde la perspectiva de la modelización.

La ED que estamos construyendo esperamos que sirva en primer lugar para mejorar la comprensión de la TRE en los alumnos de licenciatura y más aún esperamos sirva para promover un replanteamiento de la enseñanza de la ciencia en todos los niveles, particularmente el universitario.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alemañ, R. y Pérez, J. F. (2000). Enseñanza por cambio conceptual: de la física clásica a la relatividad. *Enseñanza de las Ciencias*, 18 (3), 463-471.

Arriasecq, I. y Greca, I. M. (2012). A teaching-learning sequence for the special relativity theory at high school level historically and epistemologically contextualized. *Science & Education*, 21 (6), 827-851.

Ashtekar, A. y Petkov, V. (Eds.), (2014). *Springer Handbook of spacetime*. Berlin: Heidelberg: Springer-Verlag.



Dimitriadi, K. y Halkia, K. (2012). Secondary students' understanding of basic ideas of special relativity. *International Journal of Science Education*, 34 (16), 2565-2582.

Ferraro, R. (2007). *Einstein's space-time, an introduction to special and general relativity*. New York: Springer.

Giere, R. N. (1988). *Explaining science. A cognitive approach*. Chicago: The University of Chicago Press.

Gil, D. (1994). Diez años de investigación en didáctica de las ciencias: Realizaciones y perspectivas. *Enseñanza de las Ciencias*, 12 (2), 154-164.

Glick, T. F. (1987). Cultural issues in the reception of relativity. En: T. F. Glick (Ed.), *The comparative reception of relativity* (pp. 381 -400). Holland: D. Reidel Publishing Company.

Guisasola, J., Barragues, J. I., Morentin, M. y Moreno, A. (2009). Students' understanding of the special theory of relativity and design for a guided visit to a science museum. *International Journal of Science Education*, 23 (11), 2085-2104.

López-Mota, A. D. y Rodríguez-Pineda D. P. (2013). Anclaje de los modelos y la modelización científica en estrategias didácticas. *IX Congreso Internacional Sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias*, 2008-2013.

Pietrocola, M. y Zylbersztajn, A. (1999). The use of principle of relativity in the interpretation of phenomena by undergraduate physics students'. *International Journal of Science Education*, 21 (3), 261-276.

Rahaman, F. (2004). *The special theory of relativity, a mathematical approach*. New Delhi, India: Springer.

Selçuk Sezgin, G. (2011). Addressing pre-service teachers' understanding and difficulties with some core concepts in the special theory of relativity. *European Journal of Physics*, 32, 1-13.

Scherr, R. E., Shaffer, P. S. & Vokos, S. (2001). Student understanding of time in special relativity: Simultaneity and reference frames. *American Journal of Physics*, 69 (7), 24-35.

Scherr, R. E., Shaffer, P. S. & Vokos, S. (2002). The challenge of changing deeply held student beliefs about the relativity of simultaneity. *American Journal of Physics*, 70 (12), 1238-1248.

Schutz, B. (2009). *A first course in general relativity*. USA: Cambridge University Press.

Tanei, S. (2014). Student difficulties in solving problems concerning special relativity and possible reasons for these difficulties. *Journal of Baltic Science Education*, 13 (4), 573-582.

Toledo, B., Arriasecq, I. y Santos, G. (1997). Análisis de la transición de la física clásica a la relativista desde la perspectiva del «cambio conceptual». *Enseñanza de las Ciencias*, 15 (1), 79-90.

Tsamparlis, M. (2010). *Special relativity, an introduction with 200 problems and solutions*. Berlin: Heidelberg: Springer-Verlag.

Universidad del País Vasco (2000). Enseñanza e investigación. La relatividad especial en el sistema universitario alemán, 1906-1917. *LLULL*, 23, 577-597.

Villani, A. y Pacca, J. L. A. (1987). Students' spontaneous ideas about the speed of light. *International Journal of Science Education*, 9 (1), 55-66.