



*Historia y epistemología de la Física y la Astronomía y su relación con el proceso de enseñanza-aprendizaje de estas ciencias*

## **Estudio histórico-crítico de los conceptos espacio-temporales de la relatividad especial**

*History-critical study of space-time concepts of the special relativity*

*Estudo histórico-crítico dos conceitos espaço-temporais da relatividade especial*

**Deiberth Sebastián Guayara Moreno<sup>1</sup>**

### **Resumen**

Los conceptos de espacio y tiempo son sumamente controvertidos en la actualidad, porque no se ahonda, en la clase de ciencia, sobre su epistemología e importancia histórica dentro de la física misma y, sin embargo, se utilizan a diario indiscriminadamente. Se presenta un estudio de algunos documentos históricos esenciales para el surgimiento sin antecedentes de los conceptos de espacio y tiempo desde la perspectiva de la relatividad especial y se proyecta un enfoque crítico frente a la enseñanza de esas concepciones en el colegio, basados en una experiencia investigativa con resultados interesantes desde la praxis a la epistemología de los conceptos espacio-temporales modernos. Se resalta la importancia de la investigación docente como pilar fundamental en la educación al contar con el mejor laboratorio para comprobar lo que se debe enseñar, el aula.

**Palabras claves:** Espacio, epistemología, histórico-crítico, tiempo, relatividad especial.

### **Abstract**

The concepts of space and time are highly controversial at present, since it does not delve, in the science class, into their epistemology and historical importance within physics itself and yet they are used indiscriminately on a daily basis. The following is a study of some historical documents essential to the unprecedented emergence of the concepts of space and time from the perspective of special relativity, and a critical approach is projected to the teaching of these conceptions in school, based on a research experience carried out by the author which yielded interesting results from praxis to the epistemology of

<sup>1</sup> Colegio Cooperativo Tomas Cipriano de Mosquera. Cundinamarca, Colombia. Contacto: [dsguayaram@unal.edu.co](mailto:dsguayaram@unal.edu.co)

|  |   |
|--|---|
|  | <p>modern space-time concepts. The importance of teaching research as a fundamental pillar in education is highlighted by having the best laboratory to verify what should be taught, the classroom.</p> <p><b>Keywords:</b> epistemology, historical-critic, special relativity, space, time.</p> <p><b>Resumo</b><br/> Os conceitos de espaço e tempo são altamente controversos atualmente, pois não se aprofundam na aula de ciências, sua epistemologia e importância histórica dentro da própria física e, no entanto, são utilizados indiscriminadamente diariamente. Um estudo de alguns documentos históricos essenciais para a emergência sem precedentes dos conceitos de espaço e tempo a partir da perspectiva da relatividade especial será apresentado e uma abordagem crítica será projetada contra o ensino dessas concepções na escola, com base em uma experiência de pesquisa realizada pelo autor que deu resultados interessantes da práxis à epistemologia dos modernos conceitos espaço-temporais. Destaca-se a importância do ensino da pesquisa como pilar fundamental na educação, tendo o melhor laboratório para verificar o que deve ser ensinado, a sala de aula.</p> <p><b>Palavras-chaves:</b> Espaço, tempo, relatividade especial, epistemologia, histórico-crítica.</p> |
|--|---|

## INTRODUCCIÓN

### Conceptos de espacio y tiempo según la relatividad especial

Los estudios histórico críticos se usan como una herramienta para la enseñanza de determinados conceptos. Permite adicionalmente, que el papel de investigador del docente sea palpable, pues, su tarea consiste en tomar las fuentes originales, interpretarlas acorde a su capacidad inventiva contextualizarla en un ambiente diferente al cual se originó, conservando lo fundamental del concepto. Al respecto María Mercedes Ayala nos dice: “basados en el análisis de textos elaborados por pensadores que contribuyeron de manera significativa a la consolidación de la física (análisis de originales). Los estudios histórico-críticos son en sí mismos procesos de re-contextualización de los saberes científicos” (Ayala, 2006), es el fin de los estudios histórico crítico. Ver el pasado con una visión actual y renovadora sin perturbar la esencia conceptual.

Existen varios alicientes, los estudiantes no disfrutaban en su mayoría la escuela, “es mucho el tiempo que las personas invierten y el producto es malísimo, no es digerible. La gente recuerda el 18 % de lo que estudió porque no tiene contexto” (Linás, 2018), no se

exige pensar, solo almacenar información, “la educación, tal como ella existe en la actualidad, reprime el pensamiento, trasmite datos, conocimientos, saberes y resultados que otros pensaron, pero no enseña ni permite pensar” (Zuleta, 2009), por todo esto se tiene una escuela inactual, salida de contexto pues “la escuela actual no se corresponde con el mundo actual. El mundo es flexible, cambiante y diverso, y la escuela sigue siendo rutinaria, inflexible, descontextualizada y estática” (De Zubiria, 2013). En suma, “jóvenes que vivirán en el Siglo XXI formados con maestros del siglo XX, pero con modelos pedagógicos y currículos del siglo XIX” (De Zubiria, 2013). Es deber de los docentes iniciar la transición a una nueva forma de educar, haciendo investigaciones en el aula generando la necesidad de un cambio en las políticas estatales.

El tema específico de interés es la concepción de espacio y tiempo, puesto que se utiliza a diario y se da poca importancia a la raíz del concepto y lo que trae consigo.

¿Dónde nos vemos? es una pregunta que se realiza con frecuencia, hay que iniciar toda esta contextualización brindando una relación entre los conceptos. Es imposible tener una cita exitosa si decimos: nos vemos en la entrada de la Universidad Nacional, pero no determinamos la hora para hacerlo, el encuentro posiblemente no se dé; esta fue la relación que encontró Einstein entre estos dos conceptos, y es que para describir eventos físicos no podemos desligar el espacio del tiempo, sin embargo, quedan muchas preguntas que como científicos debemos hacernos y es llegar a la raíz de estas dos palabras. Esta fue la tarea que emprendió Einstein con base a las reflexiones de Poincaré y Mach.

Poincaré ya daba grandes avances frente a los conceptos de espacio y tiempo desmarcándose de la visión Newtoniana de absolutos, puesto que “los experimentos solamente nos enseñan las relaciones de unos cuerpos con otros. Ellos no establecen y no pueden darnos las relaciones entre los cuerpos y el espacio, ni las relaciones mutuas de las diferentes partes del espacio”<sup>2</sup>, es una idea brillante y más para su tiempo, dado el éxito de lo dicho por Newton dos siglos atrás, los físicos no ponían en duda su supremacía teórica, sin embargo, algo no cuadraba en algunas mentes como la de Mach el cual da una estocada final que:

---

<sup>2</sup> La traducción se realizó a partir del original en inglés por parte de Juan Carlos Orozco en el marco del seminario de problemática histórico-filosófica en la emergencia de las mecánicas cuánticas y relativistas. De la licenciatura en Física de la Universidad Pedagógica Nacional

Un movimiento puede ser uniforme con respecto a otro movimiento. Más la cuestión de si un movimiento es en sí mismo uniforme o no carece por completo de sentido. Y no menos injustificado está el hablar de un «tiempo absoluto», es decir, de un tiempo independiente de todo cambio. Este tiempo absoluto no se puede medir en comparación con ningún movimiento; por ende, está desprovisto tanto de valor práctico como científico, y nadie tiene razones para decir que sabe algo de él. Se trata de una concepción metafísica ociosa. (Einstein, et al., 1993, p. 26-27).

Con los originales de estos autores la creatividad de Einstein desbordó llegando a plantear conclusiones sumamente fructíferas con relación al tiempo escribió “es una abstracción a la cual llegamos a través de los cambios de las cosas, y esa abstracción la hacemos porque no estamos restringidos a ninguna medida definida, estando como están todas ellas interrelacionadas”. (Einstein, *et al.*, 1993, p. 26).

Posterior a esta tarea emerge la simplicidad del científico, se define el tiempo y posteriormente el espacio con un principio básico, solo se puede hacer definiciones a partir de las relaciones entre cuerpos que den cuenta del concepto descrito, en nuestro caso el tiempo.

Cuando queremos describir el movimiento de un punto material, especificamos los valores de sus coordenadas en función del tiempo. Ahora bien: debemos tener muy presente que una descripción matemática de esta especie no tiene significado físico alguno, a menos que tengamos las ideas muy claras acerca de qué es lo que entendemos por «tiempo». (...) “Por ejemplo, si yo digo: «Ese tren llega a las siete», lo que intento decir es algo así como: La posición de la manecilla pequeña de mi reloj en las siete y la llegada del tren son sucesos simultáneos” (...), “Podría parecer que para superar todas las dificultades en torno a la definición de «tiempo» bastaría con sustituir «la posición de la manecilla pequeña de mi reloj» por «tiempo». Y, efectivamente, tal definición es satisfactoria cuando lo que interesa es definir el tiempo únicamente para aquel lugar donde está situado el reloj. (Einstein, et al., 1993, p. 63).

Es con esta definición de tiempo como un reloj, se puede iniciar un nuevo camino en la física, pues al medir el cambio de las cosas con referencia a otros cuerpos se centra la discusión. Es el espacio de una manera análoga se define por medio de los instrumentos con los cuales se mide, al respecto escribe:

(...) no nos habíamos percatado del hecho de que todas las observaciones deben ser realizadas en un cierto Sistema de Coordenadas y en lugar de describir su estructura, hacíamos caso omiso de su existencia. Por ejemplo, cuando

escribíamos “un cuerpo animado de movimiento uniforme” debíamos realmente haber escrito “un cuerpo animado de movimiento uniforme relativo a un determinado Sistema de Coordenadas (...)” (Einstein and Infeld, 1939).

Para este momento ya es notorio el interés de Einstein por hacer que la teoría y su simplicidad sea conocida por todos. Si pensamos en que el objeto que queremos medir, por ejemplo, una barra rígida se mueve en un tren, ¿cómo podemos medirlo estando fuera del vagón del tren? Se proponen al respecto dos soluciones:

- a) El observador se mueve junto con la vara de medida con la barra que se trata de medir, y mide directamente la longitud de ésta superponiendo la vara de medida, igual que si los tres se hallaran en reposo.
- b) Por medio de relojes estacionarios colocados en el sistema estacionario y sincronizados, el observador determina en qué puntos del sistema estacionario están localizados los dos extremos de la barra en un momento dado” (Einstein, *et al.*, 1993).

Por tanto, la mejor definición de espacio es la barra con la cual lo medimos.

Estos conceptos son sencillos de comprender y en la actualidad los estudiantes se encuentran con contenidos que los aproximan a estas nociones, sin embargo, la clase de física se empeña en explicar acontecimientos lejanos de la cotidianidad de los estudiantes. Existe una dicotomía en la enseñanza de la física moderna que aunque más abstracta es más cercana a los estudiantes o la enseñanza de física clásica un poco más sencilla pero menos general, es un reto para los docentes y los estudiantes pues “la primera es más excitante, más maravillosa y más divertida, pero la segunda es más fácil de captar al principio, y es un primer paso hacia la comprensión de la primera idea ” (Feynman, 2014)

¿Qué debemos hacer los docentes?

¿Qué deberíamos enseñar primero? ¿Deberíamos enseñar la ley “correcta” pero poco familiar con sus extrañas y difíciles ideas conceptuales, por ejemplo, la teoría de la relatividad, el espacio-tiempo tetra dimensional y cosas similares? o ¿deberíamos enseñar primero la sencilla ley de la «masa constante», que es sólo aproximada, pero no implica ideas tan difíciles? (Feynman, 2014).

El presente trabajo apuesta a la primera opción. En palabras de Bachelard “La mejor manera para medir la solidez de las ideas [es] enseñarlas, siguiendo en esto la paradoja que se escucha enunciar con tanta frecuencia en los medios universitarios: enseñar es la mejor manera de aprender” (Bachelard, 1978)

A continuación se mostrará parte del artículo que se realizó expresando de una manera cotidiana los conceptos de espacio y tiempo desde una perspectiva relativista muy semejante a la vivida por los estudiantes.

### **Relativamente séptimo**

Imaginemos el siguiente escenario: somos chicos de 12 o 13 años; es un sábado en la tarde; estamos en nuestra casa llena de computadores, televisores, radios, celulares, internet, láseres, relojes, balones, ropa y cintas métricas, y todos estos aparatos están disponibles para nuestro uso. El fin de semana se pasa en un santiamén y llega el momento de ir a la aburrida escuela, donde siempre dan materias raras, supuestamente son muy importantes, en las que se habla de gente muy inteligente, pero extraña, de la cual solo quedan sus descubrimientos.

De nuestro fin de semana lleno de juegos en línea, de chat con errores ortográficos y lenguaje abreviado, no queda nada. ¿Es culpa de la escuela ser aburrida?, ¿son los profesores tan viejos como para no notar las diferencias entre nuestros intereses y lo que nos enseñan? En la escuela hay que seguir ciertas reglas, se debe ingresar a las 6:10 a. m., si a lo largo de la semana llegas tarde más de tres veces, envían un reporte a tus padres. Entrás y hay una aburrida formación, escuchas a los profesores quejarse de que no llevamos uniforme, repetir una y otra vez que debemos estudiar más y que la disciplina siempre nos llevará lejos; sientes que el tiempo no pasa y quieres volver a tu cama, a jugar Minecraft en tu tableta. Luego del sermón, pasamos a los salones y llega el profesor a contarnos sobre algún extraño pensador, a quien definitivamente se le ocurrieron cosas que a mí no. Hoy nos hablaron del tiempo, como algo rarísimo, algo que transcurre y es constante y nos mide a todos por igual, pero si esto es cierto, ¿por qué siento que en la formación y en la misa los segundos no pasan y el reloj se detiene? ¿Estoy alejado de lo que el profesor me enseña, o acaso, lo que el profe nos dice solo vale para su clase? Luego de más de siete horas de estudio, termina la jornada escolar. Hoy el reloj tardó más tiempo en clase de matemáticas que en la de educación física; pero, ¿cómo es posible, si el reloj marca igual en todo momento? El caso es que ahora la prioridad es ir a ver el partido de la Champions, y que la Juve le gane al Real; los minutos del partido sí pasarán al mismo ritmo, pues los puedo ver en la pantalla del televisor, son solo 90 minutos, más adición. Cuando finaliza el partido y gana el Real, siento que el tiempo fue perdido, le hice fuerza a un equipo que jugó bien solo una parte del partido, pero no todo el tiempo; adicionalmente, perdí una apuesta con un profesor y ahora debo medir con mis zapatos el perímetro del colegio.

Después del partido, el sueño de ser el mejor de la cancha del barrio es más placentero, profundo y sagrado, menos para mi mamá que, aunque no va a clases de física sabe que a menos tiempo e igual distancia de la casa al colegio, hay que correr más o si no, nos coge la tarde, como si fuese Pac-Man comiendo a los fantasmas del juego. Esta vez, el reloj me jugó una mala pasada y llegué tarde, tendré que esperar un buen rato hasta que la fila se acabe y me anoten en la lista de retardos. El profesor, con quien perdí la apuesta, empieza a jactarse de su victoria y hoy en su clase deberé

cumplir con lo pactado, medir con mis zapatos el perímetro del colegio, afortunadamente es pequeño como una caja de fósforos.

Hoy, como lo esperaba, él hizo que su clase fuese eterna y que el reloj marcara el tiempo a paso de tortuga, mientras nos comentaba los placeres de haber ganado más de una apuesta sin siquiera mover un dedo, solo por confiar en el mejor equipo. A la velocidad de la luz recordó nuestra apuesta y me puso a medir todo el perímetro del colegio, mi cálculo falló, ese día llevé unas zapatillas más grandes y mi medida varió, fue de 893 zapatos, con un metro hubiese sido más rápido, aun así, entendí la diferencia que hace el instrumento en la medición, pues si quiero medir el grosor de una hoja no voy a utilizar un metro, pero si quiero saber la distancia de aquí a Medellín, no debo utilizar una regla, pero esas son solo bobadas que se me ocurren cuando me distraigo.





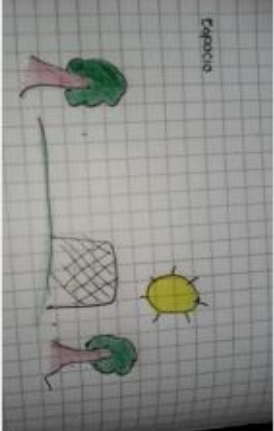

Cuando finalizó la medición también terminó la clase; espero que mañana el profe nos sorprenda con alguna actividad interesante. Luego de volver a casa, no quería más que dormir, pero mis 13 horas de sueño pasaron en cuestión de un parpadeo y debo correr, porque, como cosa rara, voy sobre el tiempo, y como mi mamá me dijo: “Si la distancia es igual y el tiempo es poco, ¡corre hijo!”. La formación fue más aburrida esta vez, a algunos chistosos de grado once se les dio por hacer trampa en un examen de matemáticas y como el profe era el asesor de once cree que todos somos iguales, y sí, pero que aburrido escucharlo quejarse de algo que los profes también hicieron en su momento. Aunque furibundo, el profe llegó con unas hojitas de papel que tenían dos preguntas, fue raro, porque él no pierde tiempo de clase, y aún más raro era la simplicidad de las preguntas: ¿qué es el tiempo?, ¿qué es el espacio? La primera fue un poco más sencilla, recordé mis carreras y dije: “El tiempo es una manera de saber cuánto me demoro en llegar a un lugar o hacer algo que me gusta o no”. Para el dibujo pensé en mi peor enemigo, el reloj de la sala de mi casa, por el cual he ganado más de un regaño de mi mamá. Con la pregunta del espacio me demoré más, no entiendo muy bien qué es eso que llamamos espacio, aun así, respondí: “El espacio puede ser todo: los planetas las estrellas, el lugar que ocupa cada cosa”, y en la tierra pensé en el espacio vacío. El profe nos sorprendió a todos, esa fue su clase, dos preguntas y ¿quién sabe para qué?, tal vez le dio pereza hacer clase normal”. (Guayara, 2018).

Los docentes de ciencias pueden transformar la cotidianidad de la escuela pues “son ciencias sin abuelos. Nuestros sobrinos nietos se desinteresarán sin duda de la ciencia de nuestros bisabuelos. Sólo verán en ella un museo de pensamientos que se han vuelto inactivos” (Bachelard, 1975), se debe encender esa llama de los estudiantes que los interese a aprender y a ser parte activa en la construcción de su conocimiento.

Con lo realizado en el presente artículo se mostró grosso modo que las concepciones de los estudiantes desarrollados en una época diferente a la de los físicos que hicieron la teoría y los docentes que enseñan los conceptos son muy cercanos a las nociones de espacio y

tiempo desarrolladas en la teoría especial de la relatividad, por lo cual se podría pensar que estamos ante una oportunidad de cambiar la forma en la que se enseña y lo que se enseña en la escuela atendiendo al contexto de los estudiantes y maestros que enseñan las teorías

Se mostrará ahora en la (Figura 1) los conceptos de los estudiantes antes de realizar la experiencia de aula.

|                            | Samy  | J. J.   | Sofi  |
|----------------------------|---|---|---|
| ¿Qué es el tiempo?         | <b>Es algo que se utiliza para medir lo que ha pasado. Es infinito, no se puede devolver y se puede medir de diferentes formas.</b> | <b>Es lo que se gasta a diario ya sea en algo productivo o en algo no tan productivo. Es algo que transcurre.</b> | <b>Es una manera de saber cuánto me demoro en llegar a un lugar o hacer algo que me gusta o no.</b> |
| ¿Qué es el espacio?        | <b>Es un medio físico que ocupa un lugar y si no hay objeto de todas maneras el espacio sigue estando ahí.</b>                      | <b>Algo que la mayoría no conoce, otros planetas, galaxias, etc.</b>  | <b>El espacio puede ser todo, Los planetas las estrellas, el lugar que ocupa cada cosa.</b>         |
| Representación del tiempo  |   |                                |                 |
| Representación del espacio |    |                               |                |

**Figura 1.** Conceptos de espacio y tiempo previos de los estudiantes.

Fuente: (Guayara, 2017)



En la figura 2 se presentan los conceptos de espacio y tiempo de los estudiantes luego de realizar la experiencia de aula. Hay que evidenciar que no es grande la variación en los conceptos, lo cual puede sugerir que los estudiantes ya tienen concepciones muy cercanas a las desarrolladas por los físicos de inicios de siglo XX.

|                     | Samy   | J. J.  | Sofi   |
|---------------------|--|--|--|
| ¿Qué es el tiempo?  | <b>Es algo que va hacia adelante como la marcha del reloj que nunca se devuelve.</b>                                       | <b>Es lo que ayuda a estar conscientes de sucesos que pasen alrededor de la vida. El tiempo está en distintas cosas y objetos.</b> | <b>Para mí, el tiempo es una percepción diferente según la actividad desarrollada, el tiempo es un reloj como en la película que muestra que se agota la vida con cada minuto vivido</b> |
| ¿Qué es el espacio? | <b>Es todo lo que nos rodea, pues hay diferentes clases de espacios, espacio vacío, espacio público o espacio privado.</b> | <b>El espacio son todos los cuerpos que llenan lo que conocemos como galaxias.</b>   | <b>Es una forma diferente de vivir dependiendo del lugar en el que se encuentre, es la relación con los demás y con el mundo.</b>  |

**Figura 2.** Concepción de espacio y tiempo posterior a la implementación.

Fuente: (Guayara S, 2017)

En la figura 3 se presenta un dibujo de una de las estudiantes, pues en la última actividad se pidió a los niños que realizaran un dibujo del espacio y del tiempo y ella dijo que ya no los podía concebir por separado.



**Figura 3.** Dibujo espacio- tiempo estudiante. *Fuente: (Guayara, 2017)*

En conclusión, los estudiantes tienen concepciones muy interesantes tanto del espacio como del tiempo, que pueden y deben ser exploradas por los docentes en las aulas y es una puerta que abre la posibilidad para investigar nuevos conceptos sobre una educación que corresponda a las dudas de los estudiantes y no solo a los contenidos impuestos por los lineamientos.

## REFERENCIAS

- Ayala, M.M. (2006). Los análisis histórico-críticos y la recontextualización de saberes científicos. *Construyendo un nuevo espacio de posibilidades*, 41:19 - 37.
- Bachelard, G. (1975). La actividad racionalista de la física contemporánea. En G. Bachelard, *La actividad racionalista de la física contemporánea* (págs. 47-52). Buenos Aires: Siglo veintiuno.
- Bachelard, G. (1978). *El racionalismo aplicado*. Buenos Aires: PAIDOS.
- Ben-dov, Y. (1999). *Invitación a la física*. Santiago de Chile: Andrés Bello.
- De Zubiria, J. (2013). *Redipe virtual*. Obtenido de Portal uasb: [http://portal.uasb.edu.ec/UserFiles/385/File/redipe\\_De%20Zubiria.pdf](http://portal.uasb.edu.ec/UserFiles/385/File/redipe_De%20Zubiria.pdf) (Julio de 2013).
- Einstein, A., & Infeld, L. (1939). La física aventura del pensamiento. En A. Einstein, & L. Infeld, *La física aventura del pensamiento* (págs. 185-250). Buenos Aires: Losada S. A.
- Einstein, A., & otros. (1993). Grandes obras del pensamiento. En M. Paredes, *La teoría de la relatividad: Sus orígenes e impacto sobre el pensamiento moderno* (págs. 61-67). Barcelona: Atalaya S. A.

- Feynman, R. (2014). Seis piezas fáciles. La física aplicada por un genio. En R. Feynman, *Seis piezas fáciles. La física aplicada por un genio* (págs. 33-34). Barcelona: Crítica S. L.
- Guayara, S. (2017). *La enseñanza de la teoría especial de la relatividad: reglas fijas y relojes con estudiantes de grado séptimo*. Tesis. Universidad Pedagógica Nacional  
Obtenido de Repositorio pedagógica:  
<http://repositorio.pedagogica.edu.co/bitstream/handle/20.500.12209/2049/TE-20534.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Guayara, S. (2018). Las perspectivas espaciotemporales en grado séptimo. *Pre-Impresos Estudiantes*, 12:3-19.
- Llinás, R. (12 de Octubre de 2018). *La visión sobre el aprendizaje de Rodolfo Llinás* Semana. Obtenido: <https://www.semana.com/educacion/articulo/rodolfo-llinas-habla-de-la-educacion-en-la-cumbre-lideres-por-la-educacion-2018/580793>
- Zuleta, E. (2009). Educación y democracia: un campo de combate. En E. Zuleta. *Educación y democracia: un campo de combate* (págs. 2-5). Bogotá D. C.: Ariel.