

Actividad 1. ¿Qué es relativo y qué absoluto? Einstein y sus nuevas ideas

PROPÓSITO DE LA ACTIVIDAD

Que los estudiantes reflexionen sobre el impacto de la teoría de la relatividad especial en la sociedad y en la comunidad científica, en el marco de una transición paradigmática sobre la comprensión de la naturaleza.

OBJETIVOS DE APRENDIZAJE

OA 4

Evaluar la contribución de la física moderna y sus teorías estructuradoras (como relatividad y mecánica cuántica) al debate sobre la naturaleza de la realidad, así como su impacto sobre la sociedad, la tecnología y los sistemas naturales.

OA a

Formular preguntas y problemas sobre tópicos científicos de interés, a partir de la observación de fenómenos y/o la exploración de diversas fuentes.

OA b

Planificar y desarrollar investigaciones que permitan recoger evidencias y contrastar hipótesis, con apoyo de herramientas tecnológicas y matemáticas.

OA e

Construir, usar y comunicar argumentos científicos.

OA f

Desarrollar y usar modelos basados en evidencia, para predecir y explicar mecanismos y fenómenos naturales.

ACTITUDES

Pensar con flexibilidad para reelaborar las propias ideas, puntos de vista y creencias.

Valorar las TIC como una oportunidad para informarse, investigar, socializar, comunicarse y participar como ciudadano.

DURACIÓN

11 horas pedagógicas.

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

Activación

- A modo de introducción, los alumnos leen o escuchan el siguiente mensaje y reflexionan a partir de algunas preguntas.

Mensaje al viajero del conocimiento moderno y contemporáneo

Iniciarás un viaje en el que no hay vuelta atrás (¿o sí?). Profundizarás en temas que, actualmente, son una de las mayores aventuras del conocimiento humano sobre la naturaleza en sus diversas escalas y manifestaciones posibles. Casi en todo momento serás desafiado en términos de lógica, sentidos y percepción. Hoy, como especie humana, tenemos algunas respuestas preliminares, abrir tu mente, pero también de tu corazón. Habitas en el cosmos, pero este también habita en ti. Por eso, sentimos y pensamos que ya estás preparado para el viaje. Einstein, Schrödinger, Heisenberg, entre otros, también vivenciaron el saber, la incertidumbre y lo místico a lo largo de la historia de la humanidad.

(Fuente: Texto elaborado por el equipo de ciencias de la UCE)

1. ¿Cuál es el objetivo del texto leído?
2. ¿Qué preguntas, ideas y sentimientos les evoca el texto?
3. ¿Se han relacionado con algunas situaciones o conocimientos que vayan más allá de su comprensión lógica, sentido y percepción? Expliquen.
4. ¿Se sienten preparados para profundizar en los saberes de las escalas micro y macro de la naturaleza?
5. ¿Se han cuestionado sobre qué es esa cosa llamada "realidad"? ¿La "realidad" es universal? ¿Cómo se podría entender la realidad desde una perspectiva intercultural? ¿La comunidad científica entiende lo mismo que ustedes cuando habla de "realidad"?
6. ¿Qué han entendido hasta ahora sobre qué es el tiempo? ¿Tiene un origen? ¿Tiene el mismo significado en todas las culturas? ¿La noción de tiempo habrá sido igual para Lao-Tse, Sócrates, Caupolicán, Newton, Einstein y nuestros abuelos? ¿Qué entienden hoy las personas por el concepto "tiempo", según su percepción? ¿Se habían dado la oportunidad de reflexionar y cuestionar qué parece ser el tiempo y qué implicancias tiene en la naturaleza, la sociedad y la comunidad científica?
7. ¿Cómo describirían el concepto de "espacio" en este momento? ¿Qué significado y sentido tiene para ustedes? ¿Habrá tenido alguna evolución ese concepto a lo largo de la historia de la humanidad? ¿Tendrá el espacio dimensiones determinadas?

Conexión interdisciplinar:

Filosofía.

OA a y OA c, 3° y 4° medio; OA 3, 3° medio.

Observaciones al docente

- Es fundamental una detención en esta parte de la actividad, pues no es habitual que los estudiantes indaguen y observen sus propias creencias, concepciones y percepciones sobre el mundo natural en diversas escalas y en las ciencias físicas, y mucho menos sobre la naturaleza de la realidad.
- Es clave, por lo tanto, que desde un principio se favorezca la empatía, el respeto, la tolerancia a la incompreensión o incertidumbre y, sobre todo, la imaginación y la creatividad.
- Es importante, asimismo, hacer preguntas y profundizar progresivamente en las nociones de "tiempo" y "espacio", lo que naturalmente es muy abstracto no solo para los alumnos, sino para los propios científicos.
- Es esencial tener presente que resolver una ecuación o definir conceptos no implica necesariamente una comprensión más amplia y epistemológica sobre el tema que se aborda.
- Se sugiere dialogar con el docente de Filosofía sobre cómo abordar la discusión o reflexión sobre la naturaleza de la realidad, y con el docente de Educación Ciudadana para plantear la noción de realidad desde una perspectiva intercultural.

- En seguida, los estudiantes analizan diferentes descripciones de un mismo fenómeno físico (por ejemplo, la caída libre de una pelota) desde distintos sistemas de referencias (por ejemplo: arriba de un tren en movimiento y desde el andén).
Para simular la situación, pueden hacer lo siguiente: un estudiante corre (en línea recta y con rapidez constante-aproximada) con una pelota que suelta al lado de su cuerpo. Discuten acerca de cómo fue el movimiento de la pelota para el estudiante que corría y para los que lo observaban fijos al suelo. Se puede exhibir un video de la situación para que analicen el caso.

Observaciones al docente

- La discusión de este tema suele resultar compleja para los estudiantes, pues normalmente arrastran preconcepciones erróneas sobre los movimientos; por ejemplo: creen que la descripción de los movimientos respecto del suelo es la única y verdadera.
- Ilustrar el tema de la relatividad clásica del movimiento con diversos casos. Por ejemplo, trasladándose con el borrador en la sala de clases para que los alumnos vean que el borrador se mueve respecto de la sala de clases, pero no respecto de él; es decir, que un mismo objeto puede estarse moviendo en un sistema de referencia y no en otro, y que ambas descripciones son correctas y verdaderas.
- Es el momento para que el docente introduzca formalmente las ecuaciones de transformación de Galileo Galilei después de recordar los conceptos de sistema de referencias, sistema de coordenadas y de observador.

- A continuación, para reforzar el concepto de relatividad clásica, los estudiantes discuten preguntas como:
 - Si arriba del tren cae libremente una manzana, ¿cómo es su trayectoria respecto del tren y respecto del suelo?
 - ¿Se cumple el principio de inercia en cualquier sistema de referencias?
 - Si dos automóviles viajan por una misma carretera con rapidez de 100 y 80 km/h (respecto del suelo), pero en sentidos opuestos, ¿cuál es la rapidez de un automóvil respecto del otro?
 - En la misma situación anterior, si los autos se están aproximando con sus luces encendidas, ¿cuál sería la rapidez de la luz que emiten los focos de los autos para cada uno de los choferes?

Observaciones al docente

- En esta primera parte, los alumnos deben entender que, cuando se habla de cómo los observadores describen distintos sistemas de referencias de un mismo fenómeno, no se trata de lo que detecten con sus sentidos, sino de lo que medirían en cada uno de los sistemas de referencias con instrumentos ideales. Es pertinente empezar esta actividad con un análisis de los sistemas de referencias, pues la teoría de la relatividad (tanto la especial como la general) tratan de cómo se relaciona la descripción de los fenómenos físicos desde distintos sistemas de referencias.

Investigación

- Los estudiantes investigan en diferentes fuentes los problemas que enfrentaba la física inmediatamente antes de que Einstein entrara en escena, y el contexto histórico y sociocultural de Europa. Se puede guiar la investigación con preguntas como:
 - ¿Por qué los físicos antes de Einstein consideraban necesaria la existencia de un medio que sustentara a las ondas electromagnéticas: el "éter cósmico"?
 - ¿Cómo era y funcionaba el interferómetro de Michelson y Morley? ¿Cuál era el propósito del experimento que hicieron? ¿Qué resultados esperaban encontrar y cuál encontraron?
 - ¿Qué otros aportes realizó Einstein a la física en 1905? ¿Cómo era la vida personal de Einstein en esa época y cómo estaba la situación política en aquellos años?

Observaciones al docente

- Puede ser oportuno analizar un video del famoso experimento de Michelson y Morley como el siguiente: www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=FgKXAvUxyI4 y otros relacionados con la biografía de Einstein.
- Aclarar que el experimento de Michelson y Morley en el desarrollo de la teoría especial de la relatividad, según diversos historiadores de la ciencia, parece haber sido menor e indirecto, al contrario de lo que se ha mostrado en medios de divulgación y libros de física. Decir que este experimento fue clave para que Einstein desarrollara su teoría distorsiona la imagen de la actividad científica, pues la limita y reproduce una visión puramente empirista de la ciencia, donde en primer lugar está el experimento y a continuación la teoría, lo que no es deseable desde un punto de vista epistemológico de la ciencia.

Análisis**Observaciones al docente**

- Ser empáticos con los estudiantes, pues la teoría de relatividad especial (TER) aborda conceptos contraintuitivos. Estudios evidencian que la evolución conceptual hacia la TER no solo es compleja para los alumnos, sino también para los propios docentes.
- Los jóvenes interpretan los conceptos relativistas desde su sistema de creencias y no a partir de los nuevos conceptos en el marco de la TER.
- Es fundamental una contextualización histórica de cómo y dónde surge la TER. Para esto, puede apoyarse en el artículo *Algunas consideraciones históricas, epistemológicas y didácticas para el abordaje de la teoría de la Relatividad Especial en el nivel medio y polimodal*, disponible en www.curriculumnacional/link/http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1516-73132002000100005
- Se sugiere tener en cuenta los siguientes conceptos, las representaciones de los estudiantes, los obstáculos identificados y las oportunidades de objetivos por abordar para el aprendizaje¹².

Conceptos	Representaciones de los estudiantes	Obstáculos identificados	Objetivos sugeridos por trabajar
Tiempo	El concepto de tiempo es difícil de definir.	<ul style="list-style-type: none"> - Los estudiantes asumen que el concepto de tiempo que se utiliza en el ámbito científico no difiere del que se usa en el lenguaje cotidiano. - Cuando los alumnos se refieren al concepto de tiempo, supuestamente desde el contexto de la ciencia, incurrir en errores como confundir magnitudes con unidades, y no establecen correctamente las relaciones entre estos conceptos y el significado del proceso de medición de la magnitud tiempo. 	<ul style="list-style-type: none"> - Analizar el concepto de tiempo desde diversos enfoques: filosófico, científico y psicológico. - Reconocer las diversas posibilidades de representación gráfica de la magnitud tiempo. - Identificar los conceptos involucrados en el proceso de medición del tiempo. - Interpretar el concepto de tiempo en el campo conceptual de la TER, estableciendo las diferencias con la mecánica clásica.
	El tiempo es una unidad.		
	El tiempo se puede representar como la variable independiente en un sistema de ejes coordenados.		
	El tiempo no se puede representar.		
	No es posible, actualmente, viajar en el tiempo, por cuestiones tecnológicas.		
	No es posible viajar en el tiempo físicamente.		
	El espacio no se puede representar.	<ul style="list-style-type: none"> - Las representaciones de los estudiantes respecto del espacio coinciden con el modelo platónico. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reelaborar el modelo construido de espacio, adecuándolo al requerido en la mecánica clásica.
	El espacio es el lugar que ocupan los cuerpos		

¹² Tabla adaptada de: Arriasec, I., Greca, I., Cayul, E. (2017). Secuencias de enseñanza y aprendizaje basadas en resultados de investigación: propuesta de un marco teórico para el abordaje de la teoría especial de la relatividad. *Enseñanza de las Ciencias*, 35(1), 133-155.

Espacio	y los huecos que quedan entre ellos.		- Interpretar el concepto de espacio en el campo conceptual de la TER estableciendo las diferencias con la mecánica clásica.
Observador	El observador puede ser un individuo o un instrumento que registra datos detalladamente.	- Los estudiantes vinculan la idea de observador con la de una persona que "observa", otorgándole el sentido de "ver" o "mirar".	- Redefinir la noción de observador adecuándose a la TER.
Simultaneidad	Dos sucesos son simultáneos cuando ocurren al mismo tiempo y en el mismo lugar.	- Los estudiantes consideran que la simultaneidad de eventos solo puede ocurrir cuando estos acontecen en un mismo lugar.	- Analizar las diversas posibilidades de eventos simultáneos en mecánica clásica. - Analizar las diversas posibilidades de eventos simultáneos en la TER.
Medición	Lo más importante en el proceso de medición es el instrumento.	- Para el estudiante no es relevante el rol del observador en el proceso de medición.	- Distinguir, desde el punto de vista físico, que en el contexto de la TER "ver" no es lo mismo que medir. - Analizar la relación entre proceso de medición, observador e instrumentos.
Sistemas de referencia	Para resolver problemas de física no es necesario tener en cuenta el sistema de referencia.	- Ante situaciones problemáticas concretas que requieren del concepto de sistema de referencia para su resolución, los estudiantes no lo utilizan.	- Resolver diferentes situaciones problemáticas que requieren ser analizadas desde diferentes sistemas de referencia.

- Los estudiantes analizan y discuten las consecuencias físicas y matemáticas de los postulados de la teoría especial de la relatividad; particularmente, la de la constancia de la rapidez de la luz. Para ello, imaginan un vagón de tren que se mueve con velocidad constante respecto del suelo y describen matemáticamente el tiempo que un rayo de luz tarda en ir del centro de un carro a sus extremos y del suelo hasta el techo, tanto para observadores situados en el tren como en el suelo.

Observaciones al docente

- Este análisis los conducirá a encontrar las expresiones matemáticas de la relatividad especial y a reconocer que:
 - Las ecuaciones de transformación de Lorentz-Einstein son diferentes a las de Galileo Galilei.
 - Dos eventos simultáneos en un sistema de referencias (en el tren) no lo son desde otro sistema de referencias (desde el suelo).
 - La duración entre dos eventos en un sistema de referencias (arriba del tren) no es igual que en otro (respecto del suelo); es decir, que el tiempo se dilata.
 - La longitud de un objeto (el largo del tren) no es la misma desde todos los sistemas de referencias; es decir, que el espacio se contrae.
- Es conveniente dar a los estudiantes las orientaciones para que realicen las deducciones matemáticas que se requiere. El trabajo es solo algebraico, pero puede complicar a algunos jóvenes. Entre las deducciones necesarias están las ecuaciones de transformación de Lorentz-Einstein, las expresiones para la dilatación del tiempo y la contracción del espacio.

- Mencionar que la teoría especial de la relatividad no se limita a cuestiones estrictamente teóricas, pues también permite interpretar otros fenómenos de la naturaleza; por ejemplo: el estudio de fuentes de energía nuclear. Tampoco se limita al ámbito científico, pues ha tenido influencias en la filosofía y en las artes, entre otras.
- Sería interesante mencionar que la repercusión de la TER fue diferente en diversos países, según el contexto histórico. Por ejemplo, mientras en Alemania se le apoyó a la TER, en Inglaterra se la consideró como un ataque al concepto de éter, que era importante para la "física inglesa" de ese momento.

Resolución de desafíos

- Los estudiantes aplican lo aprendido para resolver variados problemas de física relativista destinados a contrastar las predicciones de la física moderna respecto de lo que nos dicen los sentidos, y a apreciar el carácter revolucionario de las concepciones de Einstein.
- Entre los aspectos por analizar deben estar:
 - Lo que ocurre con las ecuaciones de transformación de Lorentz-Einstein cuando las rapidezces de un sistema de referencias respecto de otro: a) son muy pequeñas; b) son muy cercanas o iguales a c (la rapidez de la luz) o cuando es mayor que c .
 - Lo que ocurre con la duración de un fenómeno y la longitud de un objeto en dos sistemas de referencias tales que uno se mueve respecto del otro con pequeñas o muy grandes rapidezces.
 - La paradoja de los gemelos, suponiendo viajes espaciales rectilíneos y uniformes.
 - Los experimentos que prueban la dilatación del tiempo y la contracción del espacio; por ejemplo: el experimento de los muones originados en la radiación cósmica y lo que ocurre con los electrones en los aceleradores de partículas.
 - La relatividad de la masa de un cuerpo en distintos sistemas de referencias.
 - El significado de la relación entre masa y energía: $E = mc^2$.
- Entre los problemas por resolver pueden considerarse, por ejemplo:
 - ¿Con qué rapidez debe alejarse un cohete de nosotros para que los latidos de los corazones de los astronautas que viajan en él nos parezcan de unos 2 segundos?
 - ¿Cuál será la longitud para nosotros de un cohete que, en reposo aquí en tierra, medía 100 m si se aleja de nosotros con una rapidez igual al 90% de la rapidez de la luz?
 - ¿Cuál es la masa de un electrón en reposo y cuál es su masa si se mueve en un acelerador lineal de partículas al 90% de la rapidez de la luz?
 - ¿Qué energía posee un cuaderno escolar de 700 g, por el solo hecho de poseer masa? ¿Aproximadamente cuántos domicilios podrían abastecerse durante un mes con esta energía, si se pudiese aprovechar?

Observaciones al docente

- Esta cuarta etapa es de gran importancia, porque familiarizará a los alumnos con el formalismo matemático de la relatividad especial y los acostumbrará a razonar con una lógica que se separa considerablemente de lo que nos dicen el sentido común y la física de Newton.

Redacción de un ensayo

- Finalmente, los estudiantes redactan un ensayo que incluya los principales aspectos de la teoría de la relatividad especial, abordando la siguiente pregunta: ¿en qué se diferencia la física de Einstein de la de Newton? Destacan, entre otros aspectos:
 - Las diferencias fundamentales entre sus postulados.
 - Las situaciones en que conviene emplear una u otra teoría.

Conexión interdisciplinar:
Lengua y Literatura.
 OA 6, 3° medio.

- Cómo cambian los absolutos antes y después de Einstein.

Observaciones al docente

En esta quinta y última etapa, la idea es que los estudiantes viertan las ideas aprendidas en un ensayo que debe satisfacer los siguientes requerimientos:

- Introducción (definición del tema controvertido y presentación de la afirmación central del trabajo).
- Desarrollo (presentación de los distintos argumentos, ejemplos, contraargumentos y refutaciones).
- Conclusión (síntesis de lo expuesto en el desarrollo, reafirmación o no de la afirmación central del trabajo).
- Bibliografía.

Deben redactar el trabajo con vocabulario académico y científico, y una extensión de 1500 a 2000 palabras.

Algunos indicadores para evaluar formativamente esta actividad pueden ser:

- Aplican conceptos y modelos de la teoría de la relatividad especial y general para analizar fenómenos.
- Argumentan la contribución de la física moderna para el debate sobre la naturaleza de la realidad.

RECURSOS Y SITIOS WEB



- Frente de Trabajadores para la Energía (2005). *Teoría especial de la relatividad y la energía*. Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://www.nodo50.org/ciencia_popular/articulos/Einstein4.htm
- Haycan, S. (S.N) *Los hoyos negros y la curvatura del espacio-tiempo*. Recuperado de www.curriculumnacional/link/http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/50/html/sec_4.html
- National Geographic (2018) *Las mejores noticias de ciencia de 2018*. Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://www.nationalgeographic.es/ciencia/2018/12/las-mejores-noticias-de-ciencia-de-2018
- www.curriculumnacional/link/http://fisica.cubaeduca.cu/media/fisica.cubaeduca.cu/medias/interactividades/12FetcTeoriarelatividad/co/modulo_contenido.html
- Pineda, A. (2012) *Teoría de la Relatividad*. Recurso Audiovisual. Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=vXSN5GOzkVY
- Flores, L. (S.N) *Relatividad Especial. Ciclo Conferencias: "Una introducción a la Relatividad desde un punto de vista Matemático"*. Universidad de Málaga. Recuperado de www.curriculumnacional/link/http://www.uco.es/geometria/documentos/JLFlores.pdf
- *Teoría general de la relatividad*. Recurso Audiovisual. Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://vimeo.com/186311657