

UNIDAD 4. Física moderna: ¿qué sabemos de lo más pequeño y lo más grande de la naturaleza?

PROPÓSITO DE LA UNIDAD

Esta unidad busca que los estudiantes reflexionen y debatan sobre la naturaleza de la realidad, con base en los estudios teóricos y experimentales desarrollados en el marco de la física moderna¹¹, considerando interrogantes como: ¿qué diferencia a la física moderna de la física clásica? ¿Por qué los saberes de la física moderna desafían nuestros sentidos y percepciones de la realidad? ¿Cómo la mecánica cuántica y la relatividad favorecen una comprensión más amplia de la naturaleza? ¿Cuál es el alcance de la física moderna en la sociedad, la tecnología y los sistemas naturales?

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 6. Valorar la importancia de la integración de los conocimientos de la física con otras ciencias para el análisis y la propuesta de soluciones a problemáticas actuales, considerando las implicancias éticas, sociales y ambientales.

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.

OA h. Evaluar la validez de información proveniente de diversas fuentes, distinguiendo entre evidencia científica e interpretación, y analizar sus alcances y limitaciones.

OA i. Analizar críticamente implicancias sociales, económicas, éticas y ambientales de problemas relacionados con controversias públicas que involucran ciencia y tecnología.

¹¹ En este Programa de Estudio, a diferencia de la mayoría de los textos de estudio, se incorpora la teoría de la relatividad a lo que denominamos "Física moderna".

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 incomprensión 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.	- 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.	- 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.	- 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.	
	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.	- Las representaciones de los estudiantes respecto del espacio coinciden con el modelo platónico.	- 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

Actividad 2. ¿Qué significa que el espacio-tiempo sea curvo? Einstein y la relatividad general

PROPÓSITO DE LA ACTIVIDAD

Que los estudiantes reflexionen y debatan sobre la contribución de la teoría de la relatividad general de Einstein al entendimiento de la naturaleza y la realidad.

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 b

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

OA c

Describir patrones, tendencias y relaciones entre datos, información y variables.

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

16 horas pedagógicas.

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

Activación

- A modo de introducción, los estudiantes:
 1. Analizan una película de ciencia ficción como *Interestelar*, que trata de un agujero negro y de viajes en el tiempo; o documentales como *El Universo de Stephen Hawking*; Cap. 2: Viajar en el tiempo, disponible en YouTube.
 2. Realizan una “lluvia de ideas” para responder preguntas como:
 - ¿Qué nuevas ideas introducirá la teoría general de la relatividad sobre la teoría especial estudiada en la actividad anterior?
 - ¿En qué situaciones la mecánica de Newton sigue siendo de utilidad práctica?, ¿en cuáles ya no corresponde usar la física de Newton?
 - ¿Qué es una línea recta?, ¿un triángulo?, ¿una esfera?
 - ¿Cómo serán esas geometrías distintas a la de Euclides, que es la que nos enseñan en la asignatura Matemática?
 - ¿Hay rectas, triángulos, esferas, etc. en el mundo real que pretende estudiar la física?
 - ¿Qué habrá que entender por una realidad de cuatro dimensiones?
 - ¿Cómo se relaciona el tiempo con la cuarta dimensión?
 - Según la física actual, ¿cómo sería posible viajar en el tiempo?
 - ¿Por qué la luz no puede escapar de los agujeros negros?
 - ¿Qué puede significar que el universo, a gran escala, presente una curvatura?
 - ¿Qué otras preguntas les surgen?

Observaciones al docente

- Esta etapa es principalmente de carácter motivacional, pero permite además recabar información acerca de dos aspectos: los conocimientos que ya posean los estudiantes y las preconcepciones erróneas que puedan arrastrar sobre esta área de la física, que se explica porque la divulgación de la teoría general de la relatividad suele ser confusa.
- La película que se recomienda analizar, *Interestelar*, contó con la asesoría del físico teórico Kip Thorne, particularmente en los efectos especiales, pero también ha recibido la crítica en aspectos científicos. Véase, por ejemplo: www.curriculumnacional/link/https://danielmarin.naukas.com/2014/11/09/los-aciertos-y-errores-de-insterstellar/

Construcción de explicaciones

- Los estudiantes discuten sobre si es posible distinguir, mediante un experimento, si se está en un campo gravitacional (una habitación sin ventanas aquí en la superficie terrestre, por ejemplo) o en un sistema de referencias acelerado (una nave espacial, también sin ventanas, que acelera respecto de las estrellas lejanas a razón de $9,8 \text{ m/s}^2$, por ejemplo).
 1. Para ello, discuten en parejas acerca de lo que ocurre en los siguientes experimentos:
 - Cómo se mueven las manzanas al dejarlas caer libremente en cada uno de los sistemas de referencias mencionados.
 - Las trayectorias que siguen rayos de luz en cada uno de los sistemas de referencias mencionados.
 - Cómo ocurren las cosas dentro de un ascensor que cae libremente aquí en la Tierra y cómo suceden en una nave espacial muy lejos, en el vacío del espacio.
 2. Explican el significado del principio de equivalencia de la teoría general de la relatividad, y analizan las consecuencias y predicciones que se derivan de él. Por ejemplo:

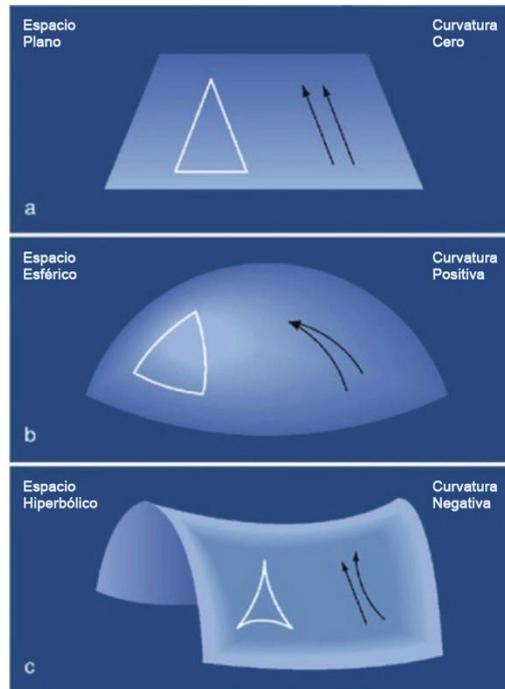
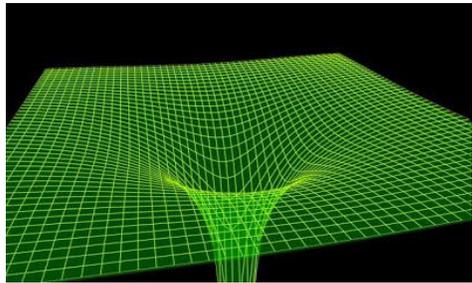
- La necesidad de reconocer que el espacio-tiempo, si se acepta la constancia de la velocidad de la luz, debe obedecer a una geometría distinta a la de Euclides o presentar cierta curvatura.
- Investigan la verificación que hizo Sir Arthur Eddington de la curvatura del espacio-tiempo alrededor del Sol en el eclipse solar de 1911 en la Isla Príncipe de África.
- La explicación del movimiento “anómalo” del perihelio del planeta Mercurio, por no poder ser explicado por la mecánica de Newton.
- El descubrimiento de agujeros negros.
- El descubrimiento de lentes gravitacionales.

Observaciones al docente

- Para esta segunda etapa, que trata del principio de equivalencia (clave para entender la relatividad general), puede ser oportuno apoyarse en videos (y animaciones) disponibles en internet, como *Relatividad [Experimento mental del Principio de Equivalencia]*, en YouTube, y resaltar los siguientes aspectos:
 - La importancia de los “experimentos pensados”, como los que empleó Einstein para concebir sus teorías.
 - Que la luz se mueve en línea recta y con rapidez constante en todos los sistemas de referencias, cuestión que vincula el concepto geométrico de recta (mundo de las ideas) con la propagación de la luz en un medio homogéneo (mundo real).
 - Señalar las condiciones de aislamiento en que se encuentran los sistemas de referencias que hay que considerar para el enunciado del principio de equivalencia: imposibilidad de observar fuera del laboratorio; pequeñas dimensiones del laboratorio; equipos para producir distintos fenómenos (mecánicos y con luz), e instrumentos adecuados para realizar todo tipo de mediciones y con total exactitud.
 - Que la fuerza de gravedad puede ser entendida como consecuencia de la curvatura del espacio-tiempo; es decir, que una manzana cuando cae, un planeta que orbita una estrella, etc. no se mueven como consecuencia de la fuerza de gravedad, sino que, lo hacen porque siguen la curvatura del espacio-tiempo a través de trayectorias denominadas geodésicas.
 - Puede apoyarse con explicaciones breves sobre relatividad general disponibles en algunos canales de YouTube, como Quantum Fracture o Date un Voltio.

Descripción de geometrías que puede adoptar el espacio-tiempo

- En seguida, los estudiantes consideran imágenes como las siguientes, que típicamente pretenden representar la curvatura del espacio-tiempo relativista, y luego responden a algunos desafíos.



3. Describen cualitativamente, por medio de modelos y esquemas, las características de las distintas geometrías que puede adoptar el espacio-tiempo según la teoría general de la relatividad. Para esto:
 - Consideran la geometría de Euclides: su importancia histórica y práctica, los postulados que la caracterizan (especialmente el quinto postulado) y su significado e implicancias en el mundo físico de Newton.
 - Consideran las geometrías no euclidianas en espacios con curvaturas positivas y negativas y cómo se separan de la geometría de Euclides (en el quinto postulado), y en algunos teoremas geométricos básicos; por ejemplo: cuánto suman los ángulos interiores de un triángulo, cómo es la medida de la hipotenusa en relación con los catetos en un triángulo rectángulo (teorema de Pitágoras), etc.
4. Discuten acerca de qué geometría es la que le corresponde realmente al universo físico y cómo se puede dirimir una discusión como esta.
5. Formulan hipótesis sobre la realidad en el universo físico de las geometrías no euclidianas y las formas de ponerlas en evidencia.

Observaciones al docente

- Para la tercera etapa, que trata de la geometría del espacio-tiempo, es necesario:
 - Analizar las diversas geometrías desde el punto de vista lógico, tanto respecto de las dimensiones como en relación con sus postulados. Hacer ver que se puede construir cualquier geometría con el número de las dimensiones que se desee y que los postulados son arbitrarios. Que la geometría del mundo real debe determinarse experimentalmente.
 - Acudir, como es tradicional, a mundos habitados por seres bidimensionales que hacen geometrías en espacios-tiempos planos, esféricos (cerrados) y con forma de silla de montar (abiertos), para explicar la curvatura del espacio.

Investigación

- Los estudiantes investigan las consecuencias más importantes de la teoría general de la relatividad, guiados por los siguientes desafíos:
 6. En el caso de los agujeros negros:
 - Analizan la historia de su estudio, desde el clérigo inglés John Michell hasta la actualidad, pasando por Albert Einstein, Stephen Hawking y la primera fotografía de uno de ellos publicada el 10 de abril de 2019.
 - Investigan las formas en que se los clasifica (activos e inactivos; micros y macros; etc.) y las técnicas con las que se los pone en evidencia.
 - Explican lo que ocurre con el espacio-tiempo fuera, dentro y en el horizonte de sucesos de un agujero negro.
 - Investigan lo que se piensa que puede ocurrir con la materia en su interior.
 - Explican el posible origen de los agujeros negros.
 - Investigan las opiniones de los astrónomos sobre la existencia de agujeros blancos y los agujeros de gusanos que los comunicarían.
 - Especulan sobre el significado que puedan tener acerca de la evolución del universo.
 7. En el caso de las ondas gravitacionales detectadas en 2016:
 - Describen su historia, las tecnologías con las que fueron detectadas y las futuras utilidades que pueda tener en la investigación astronómica.
 8. Analizan, desde el punto de vista científico, el mal uso que en ciertos contextos se hace del concepto de dimensión; asociándolo, por ejemplo, a misterios como “portales” para pasar de una a otra dimensión.
 9. En el caso de las implicancias cosmológicas:
 - Investigan la predicción de la teoría del Big Bang, la inestabilidad que implican las ecuaciones de la teoría general de la relatividad y la necesidad de que se esté expandiendo o comprimiendo.
 - Describen las posibles geometrías del espacio-tiempo a escala global (cerrado, abierto y plano) y la posible finitud o infinitud del universo.
 - Explican lo conveniente de considerar el espacio-tiempo como una sola entidad, en vez de referirse separadamente al espacio y al tiempo, y que esta entidad es de cuatro dimensiones.
 - Analizan las posibilidades reales de viajar en el tiempo (por ejemplo, al futuro) al moverse cerca de un agujero negro.

Observaciones al docente

- Si los estudiantes no vieron la película *Einstein y Eddington* en la unidad 1 sobre el cosmos, es una excelente oportunidad para verla y analizar algunos aspectos sobre la construcción del conocimiento científico y el contexto sociocultural. La película está disponible en internet.
- Explicarles a qué corresponden las dimensiones en matemática (desde la mirada de la geometría). Por una parte, la consistencia de considerar el espacio-tiempo como una entidad de cuatro dimensiones y, por otra, la necesidad de realizar (por medio de planos) cortes geométricos en espacios de cuatro dimensiones para ayudar a la imaginación.

- Finalmente, en grupos, enfrentan el desafío de elaborar una infografía con el uso de TIC sobre las principales ideas y aportes de la teoría general de la relatividad. La socializan entre sus propios compañeros y eligen tres para publicarlas en redes sociales o páginas web desde donde se puede cargar recursos educativos.

Observaciones al docente

- Colabore con los estudiantes para que organicen sus ideas y reflexiones. Como se ha insistido, el tema es contra-intuitivo, y ya se les hace complejo entenderlo. Por eso, para diseñar el recurso, sería conveniente plantearles algunas preguntas que puedan guiar la organización de la información; por ejemplo: ¿a qué público va dirigida su infografía (niños, jóvenes, adultos, ancianos u otro)? ¿Qué aspectos les gustaría destacar y por qué? ¿Qué recursos les ayudarán a transmitir de forma efectiva de la información (gráficos, imágenes, tablas, fotografías u otro)? ¿Cómo debiese secuenciarse la información?
- Recordarles que en internet hay varios tutoriales sobre qué tener en cuenta para diseñar infografías.
- Incentive una evaluación entre pares sobre la infografía diseñada, enfocándose en aspectos como rigurosidad conceptual, creatividad e imaginación, entre otros. Para que esta práctica resulte más eficiente, se sugiere co-diseñar con ellos una rúbrica; incluso la pueden elaborar antes de hacer la infografía.
- Finalmente, haga que los alumnos reflexionen y tomen conciencia sobre el proceso desarrollado, sus sentimientos, emociones y obstáculos durante la actividad, y las ideas físicas en las que aún tienen dificultades.

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

- Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas (2015). La Teoría de Relatividad General de Einstein. Universidad de Chile. Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=C1b8O_itOZM; www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=GT_HdtrgolbE; www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=vG1vXgDvvqY; www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=VTPZFXzUqZg.
- Cosmo Educa (S.N) *Gravitación*. Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://www.iac.es/cosmoeduca/gravedad/temas/g1.htm
- S.N. (2018) *Las ecuaciones de campo de la relatividad general. Cuaderno de Cultura Científica*. Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://culturacientifica.com/2018/03/27/las-ecuaciones-de-campo-de-la-relatividad-general/

Actividad 3. La realidad en el mundo de lo muy pequeño. ¿Determinismo absoluto o determinismo probabilístico?

PROPÓSITO DE LA ACTIVIDAD

Que los estudiantes reflexionen y debatan sobre las nociones básicas de la mecánica cuántica y entiendan cómo ellas han contribuido a cambiar las ideas y modelos que teníamos sobre la naturaleza de la realidad.

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 b

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

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

14 horas pedagógicas.

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

Activación

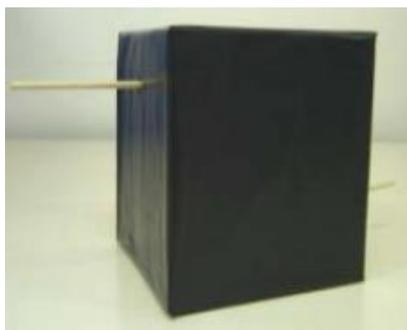
- Los estudiantes escuchan un texto como el siguiente, y luego responden algunas preguntas.

Te seguimos la pista, viajero...

Sabemos muy bien por lo que estás pasando con la aventura emprendida en los saberes modernos de la física. A nosotros nos pasó lo mismo. Las dudas, el error y la confusión fueron parte importante de nuestro camino. Todo este proceso es más natural de lo que te imaginas. Poco a poco irás asimilando los conceptos e ideas que desafían nuestros sentidos, percepción y lógica. Ahora navegarás en la mecánica cuántica, la que invita a reflexionar profundamente sobre la constitución y el comportamiento de la realidad natural de lo más pequeño. A pesar de que todavía la teoría cuántica presenta problemas de interpretación y distorsiones en su divulgación, es nuestro deber decirte que, hasta ahora, es increíble su éxito predictivo.

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

- ¿Qué piensan y sienten cuando escuchan o leen “las dudas, el error y la confusión fueron parte importante de nuestro camino. Todo este proceso es más natural de lo que te imaginas. Poco a poco irás asimilando los conceptos e ideas que desafían nuestros sentidos, percepción y lógica”?
 - ¿Qué es lo más pequeño de la realidad natural según su percepción?
 - ¿Por qué la mecánica cuántica presenta problemas de interpretación?
 - ¿A qué se referirá el texto cuando alude a que hoy la teoría cuántica presenta distorsiones en su divulgación?
- Luego los estudiantes, organizados en grupos, observan una experiencia demostrativa, “Caja negra”, y:
 - Construyen, colaborativamente, un modelo explicativo del fenómeno presentado por el docente.
 - Socializan sus modelos entre los grupos, y estudian las consideraciones relevantes y limitaciones de los modelos elaborados por sus compañeros.
 - Reflexionan colectivamente sobre el rol de los modelos en las ciencias físicas.



Observaciones al docente

- El objetivo de esta actividad es que los estudiantes desarrollen sus propios modelos para describir un determinado sistema físico y, desde aquí, poco a poco, se familiaricen con el rol de los modelos en la construcción del conocimiento científico, considerando sus alcances y limitaciones.
- En lo práctico, el mecanismo de funcionamiento permanece oculto (caja negra) hasta el momento final de la actividad, por lo que su construcción solo deberá ser conocida por el docente.

A continuación, se describen los pasos para construir la experiencia de la caja negra¹³:

1° Consiga los siguientes materiales: una caja de cartón pequeña, elástico, dos palitos para brochetas sin las puntas, un palito de helado, alambre grueso de cobre, cinta adhesiva y papel negro.

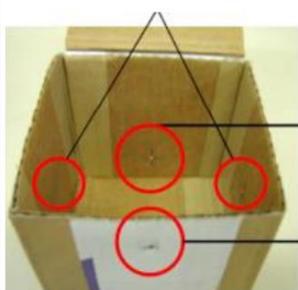
2° Haga un agujero en el centro del palito de helado y corte sus puntas de modo que la longitud quede un poco menor que la altura de la caja. A continuación, ate un palito de brocheta en cada extremo del palito de helado utilizando un elástico. Corte un pedazo de alambre grueso, mayor que la anchura de la caja y páselo por el centro del palito de helado.



3° Haga dos agujeros a la misma altura en dos lados opuestos de la caja para encajar el alambre. En otro lado, haga un agujero para el palito de brocheta superior y, en el lateral opuesto, otro agujero para el palito inferior.

4° Enganche el mecanismo dentro de la caja y, utilizando elástico y cinta adhesiva, sujete la parte más pequeña de los palitos de brocheta en las laterales de la caja.

Agujeros centrales



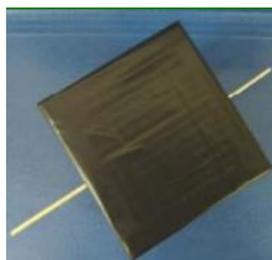
Agujero inferior

Agujero superior



5° Ahora mueva (empuje o tire con cuidado) uno de los palitos de brocheta para ver cómo el otro se comporta. Si está funcionando bien, cierre la tapa, cubra su caja con papel negro, sin que se note el alambre en las laterales.

Se entiende que funciona bien si empujando un palito de brocheta hacia dentro de la caja provoca que el otro palito de brocheta ingrese también a la caja, o bien, si se tira con cuidado un palito, el otro también se mueve hacia afuera de la caja.



- Hay que llevar la caja negra lista a la clase. Se sugiere llevar una caja más en caso de emergencia, pues siempre existe el riesgo de que algo no funcione.
- Realice la demostración para todos los estudiantes.
- Es muy importante que cada grupo tenga la oportunidad de manipular la caja y observarla con más detalles (2 minutos por grupo), y que el docente cautele que no la abran.

¹³ El paso a paso y montaje fue adaptado y traducido del trabajo de Bueno., L., Palmieri, M., Mendes, W. (2015). Fisistória. *Guía de experimentação*.

- Se sugiere darles 30 minutos para que elaboren su modelo y redacten o esquematicen su justificación.
- Cuando compartan sus modelos en clases y analicen el de sus compañeros, favorecer un ambiente de respeto.
- Una variación o complemento que podría hacerse a la actividad es que pongan a prueba sus modelos construyendo su propia caja negra.
- Para la reflexión en torno al rol de los modelos, puede apoyarse con el texto *Sobre modelos científicos*, disponible en: www.curriculumnacional/link/https://www.oei.es/historico/divulgacioncientifica/?Sobre-modelos-cientificos. Asimismo, se recomienda plantear algunas preguntas; por ejemplo: ¿cómo construyen los físicos sus modelos? ¿Por qué los modelos cambian en las ciencias a lo largo de la historia? ¿Qué hace que un modelo sea más aceptado que otro en las ciencias?

Resolución de desafíos

- Los estudiantes observan un video como *¿Qué es la mecánica cuántica?* del canal CuriosaMente de YouTube, y luego:
 - Responden algunas preguntas:
 - ¿Cuáles son las ideas del texto que más les llamaron la atención?
 - ¿A qué personas se menciona?
 - ¿Qué dudas y preguntas les surgen tras ver el video?
 - Lo que explican en el video, ¿es la realidad misma o son modelos sobre la realidad natural?
 - ¿Qué aspectos del contenido del video son criticables desde la perspectiva de la naturaleza de las ciencias?
- En seguida, realizan una investigación acerca de los problemas que enfrentaba la física clásica a finales del siglo diecinueve, principalmente, la incapacidad de explicar el efecto fotoeléctrico y la existencia de espectros atómicos, y reflexionan colectivamente cómo esto promovió la necesidad de nuevos modelos y teorías.
- Explican el origen, el valor y el significado de la constante h de Planck.
- Elaboran un mapa conceptual con las principales ideas sobre la discontinuidad de la materia, desde Parménides hasta Schrödinger, pasando por los modelos atómicos de Dalton, Thompson, Rutherford, y de Bohr. Destacan los aportes de cada uno de estos modelos a la comprensión del átomo en su época, sus postulados básicos y sus limitaciones.

Observaciones al docente

- Enfatizar en que los modelos son aportes esenciales para interpretar la realidad natural, pero no son la realidad propiamente tal.
- Para apoyar la investigación y la reflexión sobre la crisis que enfrentó la física clásica, utilizar, por ejemplo, la discusión que aparece en el artículo *Una propuesta para la enseñanza aprendizaje de la física cuántica basada en la investigación en didáctica de las ciencias*, disponible en internet.
- Para el estudio del efecto fotoeléctrico, se sugiere trabajar con algún simulador; por ejemplo, el disponible en www.curriculumnacional/link/https://phet.colorado.edu/es/simulation/photoelectric
- Es importante, también, conocer las dificultades en la enseñanza y el aprendizaje de la física cuántica, como los alertados por Sinarcas y Solbes (2013), quienes indican que los estudiantes:
 - No ven la física cuántica como un cambio necesario frente a los inconvenientes de la newtoniana.
 - No comprenden el papel de los modelos y no saben relacionar un salto de un electrón entre dos niveles con la correspondiente banda de color del espectro del átomo.
 - Representan al fotón y al electrón como partículas clásicas (con trayectorias u órbitas).
 - Interpretan erróneamente la dualidad (ondas y partículas, ondas o partículas según la experiencia).
 - No tienen una imagen clara de qué representa la ψ y, por lo tanto, un orbital.

- Interpretan las relaciones de indeterminación como un error en la medida por la pequeñez del electrón, el protón, etc. Mantienen el determinismo o las órbitas clásicas.
 - No tienen claros los límites de la física clásica ni las diferencias con la cuántica, porque no ven la física cuántica como un cambio frente a la newtoniana.
 - Desconocen los procedimientos implicados y, en particular, qué hacer cuando no coincide lo predicho por la teoría con los resultados del experimento.
 - No ven las conexiones de la física cuántica con la tecnología y la sociedad.
- Tener en cuenta, además, que muchos libros de física presentan serias limitaciones: muchos no abordan la crisis de la física clásica; no aluden al problema de cuerpo negro con el abordaje de electromagnetismo, termodinámica u otros pertinentes; no muestran las limitaciones del modelo pre-cuántico de Bohr; no presentan los electrones, neutrones, electrones, fotones y otros como objetos de tipo nuevo, en comparación a los modelos clásicos de onda y partícula; falta de claridad entre la diferencia entre física clásica y cuántica; escasez de relaciones entre física cuántica, tecnología y sociedad.

Experimentación

- Los estudiantes analizan experimentalmente el fenómeno de interferencia de ondas superficiales en agua y reproducen el experimento de Young de la doble rendija. Para esto:
 1. Preparan una cubeta de ondas de modo que exista un generador puntual de ondas circulares periódicas, y disponen de una doble abertura para que las ondas se difracten y luego interfieran. Analizan el patrón de interferencia que se obtiene y lo explican desde el punto de vista del modelo ondulatorio.
 2. Por una doble ranura (practicada en un vidrio ahumado) hacen pasar la luz de un puntero láser, reproduciendo el experimento de Young e identificando las zonas de interferencia constructiva y destructiva. Investigan la importancia que tuvo este experimento que convenció a la comunidad científica del comportamiento ondulatorio de la luz.
 3. Analizan un experimento equivalente a los anteriores, pero hecho con sonido, reconociendo que el sonido debe interferir constructivamente en algunos lugares y destructivamente en otros, produciendo zonas de silencio, con un patrón de interferencia similar a la de los experimentos anteriores.
 4. Comparan los experimentos anteriores de interferencia de ondas superficiales en agua con luz y con sonido. Explican cómo se puede determinar las longitudes de onda de las ondas a partir de los diagramas de interferencia.
 5. Predicen qué ocurrirá en un experimento similar a los anteriores, pero en el que, en vez de enviar ondas a una doble ranura, se envía electrones. ¿Qué ocurrirá si se envía los electrones de a uno? ¿Por qué ranura o abertura pasarán? ¿Qué patrón se obtendrá después de enviar muchos electrones?
 6. Investigan, finalmente, el resultado de este experimento (el de la doble ranura) realizado con electrones, tanto cuando se detecta la ranura por donde pasan como cuando no se detecta. Comparan sus predicciones con los resultados experimentales reales.

Observaciones al docente

- Esta segunda etapa se debe abordar en forma experimental, pero se recomienda reforzar los conceptos por medio de simulaciones como las que se muestran en

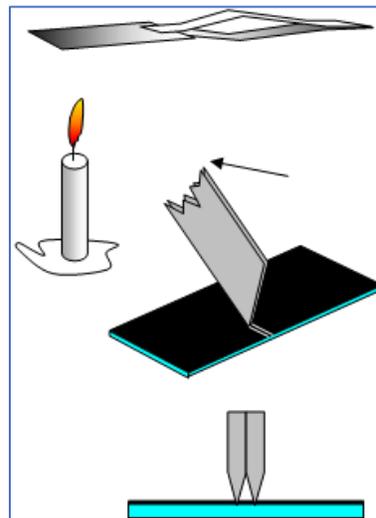
www.curriculumnacional/link/https://phet.colorado.edu/sims/html/wave-interference/latest/wave-interference_es.html

Los experimentos con ondas superficiales en agua y la reproducción del experimento de Young no son muy complejos; en todo caso, será necesario ayudar a los estudiantes, especialmente en los montajes.

La figura de la derecha muestra una manera de producir una doble rendija adecuada para reproducir el experimento de Thomas Young. Primero, ahumar un portaobjeto de microscopía con una vela y después, con dos cuchillas de corta cartones juntas, rayar la zona ennegrecida para obtener una doble ranura. Recomiende a los estudiantes tener cuidado al realizar estos procedimientos.

Al hacer pasar por la doble ranura la luz de un puntero láser, podrá proyectarse el diagrama de interferencia en un telón.

Señalar a los estudiantes el impacto del experimento de Young, el cual convenció a los físicos de su época de la naturaleza ondulatoria de la luz, a lo cual se sumaron después las predicciones y descubrimientos de las ondas electromagnéticas por parte de Maxwell y Hertz.

**Investigación**

- Los estudiantes realizan una pequeña investigación en internet u otras fuentes sobre el significado del principio de incertidumbre de Heisenberg, respondiendo posteriormente algunas preguntas como las siguientes:
 - ¿Cómo y en qué contexto Heisenberg llegó a desarrollar el principio de incertidumbre? Describan.
 - ¿Cuál es el origen de las incertezas presente en toda medición? Expliquen.
 - La indeterminación en el principio de incertidumbre de Heisenberg, ¿es producto de la imprecisión de los instrumentos y técnicas de medida? Argumenten brevemente.
 - ¿A qué corresponde cada uno de los símbolos que figuran en la expresión matemática siguiente: $(\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{2\pi})$?
 - ¿Cómo se interpreta el significado de este principio desde el punto de vista de la física?
 - ¿Podemos aplicar el principio de incertidumbre de Heisenberg a la escala humana? Argumenten.
 - ¿Qué otras preguntas les surgen a partir del estudio del principio de incertidumbre de Heisenberg?
 - ¿De qué manera el principio de incertidumbre de Heisenberg contribuye a la reflexión y el debate sobre la naturaleza de la realidad?

Observaciones al docente

- Se sugiere observar algunos breves videos sobre el principio de incertidumbre de Heisenberg disponibles en los canales de YouTube Date un Voltio o Quantum Fracture. También pueden ver el documental *Todo sobre la incertidumbre*, de Discovery Channel, disponible en internet.
- Una vez presentada la expresión matemática de este principio, hay que ilustrar su significado con variados ejemplos, destacando los siguientes aspectos:
 - La imposibilidad de conocer simultáneamente, y con toda la precisión que se quiera, la posición y el momento lineal de una partícula subatómica. Esto debe entenderse como una limitación impuesta por la propia naturaleza, al conocimiento que podemos tener de ella.

- b) En lo que se refiere a su interpretación, señalar, por ejemplo, la necesidad de “iluminar” una partícula para poder localizarla con mayor intensidad mientras se requiera más precisión en su localización, lo cual la afecta y cambia significativamente su momento lineal, incrementando la incerteza en la determinación de su velocidad.
- c) Puede ser oportuno indicar que la expresión antes señalada corresponde a situaciones unidimensionales.
- d) El concepto de trayectoria deja de tener sentido.

- Los estudiantes profundizan en algunos aportes de Schrödinger, para lo cual:
- Analizan en qué consiste la paradoja del gato de Schrödinger.
 - Leen la siguiente noticia sobre el gato de Schrödinger y responden algunas preguntas:

The image shows a screenshot of a news article from BBC News Mundo. The article title is "Cómo encontraron la forma de salvar al gato de Schrödinger, el experimento más famoso de la física cuántica". The article is dated 6 June 2019. Below the title, there is a photograph of two cats, one sitting and one lying down, against a blue background.

El gato de Schrödinger es célebre por simbolizar algunas de las características más desconcertantes de la física cuántica.

El experimento mental propuesto en 1935 por el científico austríaco Erwin Schrödinger ejemplifica tanto la imprevisibilidad como la llamada superposición, la posibilidad de que dos estados opuestos existan simultáneamente.

En la paradoja planteada por Schrödinger, quien recibió el Nobel de Física en 1933, el gato está vivo y muerto al mismo tiempo. Y ninguno de esos estados puede ser anticipado. Pero científicos de la Universidad de Yale en Estados Unidos encontraron ahora una forma no solo de predecir el estado del famoso gato, sino de salvarlo¹⁴.

1. ¿Qué preguntas les surgen tras leer la noticia?
 2. ¿Cuál es el rol de los experimentos mentales en la física? Expliquen.
 3. ¿A qué se refiere la idea de “superposición” en la física cuántica?
 4. La posibilidad de que un gato esté vivo o muerto, ¿corresponde a la realidad tal y como es, a una creencia o a un modelo? Argumenten.
 5. ¿Cuál es el aporte de los científicos de la Universidad de Yale a la propuesta del gato de Schrödinger?, ¿les hace sentido? ¿Qué dudas o sentimiento les evoca?
- Investigan en diversas fuentes la ecuación de Schrödinger en situaciones unidimensionales y, desde el punto de vista gráfico, algunas de sus soluciones para partículas subatómicas en diversas circunstancias; en sus conclusiones destacan aspectos como:
 1. El origen y el desarrollo histórico de esta ecuación.
 2. Su significado e interpretación probabilística de sus soluciones.
 3. El concepto de barrera de potencial.
 4. La posibilidad de que una partícula cruce una barrera de potencial por un túnel cuántico.
 5. La contribución de Schrödinger al debate sobre la naturaleza de la realidad.

¹⁴ www.curriculumnacional/link/https://www.bbc.com/mundo/noticias-48542209

Observaciones al docente

- Se sugiere utilizar algunos videos cortos sobre el Gato de Schrödinger, como los disponibles en los canales de YouTube de MinutodeFísica o Date un Voltio.
- En esta etapa, centrada en la ecuación de Schrödinger, limitarse a los aspectos históricos y a los análisis gráficos y cualitativos. Lo importante es resaltar el hecho de que la realidad a nivel de lo muy pequeño puede describirse como una onda cuya ecuación predice y da cuenta de muchos fenómenos, entre los cuales destaca el que una partícula subatómica pueda escapar de pozos de potencial o cruzar barreras de potencial (cosa imposible según la física clásica) y que las predicciones se limitan solo a señalar probabilidades. También es importante destacar, por ejemplo, cómo esta ecuación explica los postulados del modelo atómico de Bohr con gran exactitud, incluidas las líneas de emisión del espectro del átomo de hidrógeno.

Diseño de un recurso de divulgación

- Finalmente, los estudiantes elaboran un recurso de divulgación sobre las principales ideas de la mecánica cuántica y sus resultados, según lo estudiado en la presente actividad. Este recurso debiese incluir:
 6. El desarrollo histórico del concepto de cuantización.
 7. La interpretación de los resultados de los experimentos sobre interferencia de electrones en una doble ranura.
 8. La paradoja del gato de Schrödinger.
 9. El principio de incertidumbre de Heisenberg.

Observaciones al docente

- De ser posible, y considerando la autorización de los estudiantes, compartir los recursos de divulgación en las redes sociales de la Sociedad Chilena de Enseñanza de la Física (SOCHEF).

Algunos indicadores para evaluar formativamente esta actividad pueden ser:

- Explican fenómenos a pequeña escala con base en principios de la mecánica cuántica.
- Argumentan la contribución de la física moderna para el debate sobre la naturaleza de la realidad.

RECURSOS Y SITIOS WEB



- *¿Qué es la mecánica cuántica?* Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=uHrCIWsxMt0;
- *Aplicaciones de la física cuántica.* Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=ReNW6v2H2w
- *Barreras de Potencial y Tunelamiento.* Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=mFYhtt2nzPk;
- *Breve introducción a la mecánica cuántica.* Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://ingenieriainformatica.cat/wp-content/uploads/2016/05/BREVE-INTRODUCCI%C3%93N-A-LA-MEC%C3%81NICA-CU%C3%81NTICA.pdf
- Cabello, A. (2017). El puzzle de la teoría cuántica. ¿Es posible zanjar científicamente el debate sobre la naturaleza del mundo cuántico? *Investigación y Ciencia*. Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/la-red-de-la-memoria-712/el-puzzle-de-la-teora-cuntica-15554
- Castrillón, J., Freire, O., Rodríguez, B. (2014). Mecánica cuántica fundamental. Una propuesta didáctica. *Revista Brasileira de Ensino de Física*, 36(1), 1505 (1-12).
- Gratton, J. (S.N) *Introducción a la Mecánica Cuántica*. Recuperado de www.curriculumnacional/link/http://www.lfp.uba.ar/es/notas%20de%20cursos/notasmecanicacuantica/Cuantica.pdf.
- *La mecánica cuántica.* Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://www.youtube.com/watch?v=NpwpbH37-E8.
- *Mecánica cuántica.* Recuperado de www.curriculumnacional/link/http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/cuantica/FisicaModerna.htm
- *Mecánica cuántica.* Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://www.ecured.cu/Mec%C3%A1nica_cu%C3%A1ntica;
- Sinarcas, V., Solbes, J. (2013) Dificultades en el aprendizaje y la enseñanza de la física cuántica en el bachillerato, *Enseñanza de las Ciencias*, 31(3), 9-25.
- Solbes, J., Sinarcas, V. (2010). Una propuesta para la enseñanza aprendizaje de la física cuántica basada en la investigación en didáctica de las ciencias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 57-85.
- Sus, A. (2017). Mecánica cuántica: interpretación y divulgación. *Investigación y Ciencia*. Recuperado de www.curriculumnacional/link/https://www.investigacionyciencia.es/revistas/investigacion-y-ciencia/el-origen-de-la-tecnologa-709/la-mecnica-cuntica-contada-de-otra-forma-15392

Actividad 4. ¿Qué nos aporta finalmente la física moderna?

PROPÓSITO DE LA ACTIVIDAD

Que los estudiantes reflexionen y reconozcan las repercusiones de la física moderna en sus diferentes ámbitos (filosóficos, científico-tecnológico) y cómo está presente en sus vidas cotidianas.

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 6

Valorar la importancia de la integración de los conocimientos de la física con otras ciencias para el análisis y la propuesta de soluciones a problemáticas actuales, considerando las implicancias éticas, sociales y ambientales.

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.

OA h

Evaluar la validez de información proveniente de diversas fuentes, distinguiendo entre evidencia científica e interpretación, y analizar sus alcances y limitaciones.

ACTITUDES

Participar asumiendo posturas razonadas en distintos ámbitos: cultural, social, político y medioambiental, entre otros.

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

DURACIÓN

12 horas pedagógicas.

DESARROLLO DE LA ACTIVIDAD

Investigación

- Los estudiantes, reunidos en grupos, investigan en diferentes fuentes las aplicaciones científicas y tecnológicas de la relatividad especial de Einstein, de la teoría de la relatividad general, de la mecánica cuántica, y sus alcances en la sociedad y el ambiente.

Observaciones al docente

- Se sugiere que se organicen dos grupos para investigar las aplicaciones y alcances de la relatividad especial de Einstein, dos grupos para relatividad general, y dos grupos para mecánica cuántica. Se propone que cada grupo investigue por su propia cuenta hasta organizar lo pesquisado. En seguida, invitarlos a que se reúnan los dos grupos por tema, intercambien sus hallazgos y organicen la información con el uso de TIC para compartirlas posteriormente al curso. Para esto, pueden elegir a dos o tres representantes por tema, quienes tendrán la misión de enfatizar en las aplicaciones investigadas, considerando contextos e implicancias sociales, éticas y ambientales.
- Respecto de las utilidades de la teoría especial de la relatividad, se sugiere tener en cuenta y señalar que:
 - En situaciones en que hay grandes velocidades (como en la radiación cósmica y los aceleradores de partículas) estamos obligados a usar las ecuaciones de la relatividad especial.
 - La famosa expresión $E = mc^2$ permitió, por primera vez, entender el proceso a través del cual las estrellas evolucionan e iluminan durante tantos años; favoreció el diseño de reactores nucleares que permiten generar energía eléctrica y producir materiales radiactivos de usos medicinales; pero también permitió construir peligrosas armas nucleares. Es una oportuna instancia para enfatizar en las relaciones CTS y la importancia de la ética y la conciencia en el uso de los saberes científicos.
- Respecto de la utilidad de la teoría general de la relatividad, se sugiere tener en cuenta y señalar que:
 - Entre las aplicaciones a la cosmología hay que destacar, por ejemplo, el que las ecuaciones de la relatividad general implican que el universo no puede estar en equilibrio o ser estacionario como creían muchos científicos, entre ellos, inicialmente el propio Einstein, quien en algún momento introdujo la famosa constante cosmológica para explicar que el universo no hubiese colapsado.
 - Actualmente, gracias a observatorios de interferencia de rayos láser (como LIGO) con los cuales se están detectando las ondas gravitacionales, está siendo posible detectar catástrofes cósmicas como la fusión entre agujeros negros y la de estrellas de neutrones con agujeros negros. Posiblemente, en un futuro no muy lejano, se detectarán ondas gravitacionales provenientes del propio Big Bang.
 - También hay que abordar los GPS o sistemas de posicionamiento global y sus diversas aplicaciones. En cuanto a su funcionamiento, hay que destacar que ellos operan con base en una serie de satélites artificiales que, básicamente, son relojes de gran precisión y que, gracias a la exactitud de la teoría general de la relatividad, permiten conocer las posiciones. Entre sus usos hay que destacar la navegación terrestre, marítima y aérea (tanto civil como comercial, deportiva, turística, etc.). Bastantes dispositivos móviles y automóviles los incorporan en la actualidad, siendo de especial utilidad para encontrar direcciones. También resultan de gran importancia en geología; por ejemplo, para medir la deriva continental, monitorear volcanes y medir actividad sísmica. Asimismo, son de utilidad para rastrear personas perdidas, automóviles y computadores robados, mascotas extraviadas, entre otros.
- Respecto de las utilidades de la mecánica cuántica, se sugiere tener en cuenta y señalar que:
 - Desde la época de los sesenta, sus aplicaciones son las que más han impactado en las personas y en toda la sociedad, y que también serán las que determinarán más fuertemente el estilo de vida de las personas y de la sociedad en el futuro.
 - Por ejemplo, el diodo, el transistor y el circuito integrado permitieron la portabilidad de los dispositivos electrónicos (desde la radio a pilas, pasando por la calculadora electrónica hasta el moderno teléfono celular);
 - Los circuitos integrados de gran complejidad, como los procesadores, posibilitaron el manejo digital de gran cantidad de información y en forma cada vez más rápida y eficiente, lo que permitió almacenarla (discos duros, memorias de estado sólido y en la nube, entre otros) y transmitirla como se hace por internet, wifi; Bluetooth, entre otros.

- La luz láser, además de ser útil como puntero para los profesores, tiene gran importancia en la industria y en la observación astronómica (por ejemplo: en la denominada "óptica adaptativa", que permite minimizar las distorsiones propias de la atmósfera terrestre).
- Las tecnologías de los sensores remotos (temperatura, presión, humedad, rapidez de los flujos, contaminación, etc.) que se derivan de los progresos en mecánica cuántica están permitiendo poner en evidencia el comportamiento de los sistemas naturales y del cambio climático.
- La mecánica cuántica nos promete cambios mucho más revolucionarios en el procesamiento de información (con las computadoras cuánticas) y la industria, y en la medicina con la introducción de las nanociencias que, por medio de nano-robots, podrán actuar a niveles muy pequeños.
- No es necesario en esta actividad analizar cómo funcionan los transistores, los circuitos integrados ni los rayos láser, aunque puede ser interesante mostrar cómo ha evolucionado la electrónica desde las válvulas de vacío hasta la actualidad, para que se aprecie el proceso de miniaturización que ha tenido lugar durante el último siglo.

Conversatorio

- Aclaran mitos relacionados con la física moderna, considerando situaciones como:
 - En una reunión entre amigas y amigos se habla sobre diversos temas, desde diferentes puntos de vista. Uno de ellos dice: "Al final, no llegaremos a un acuerdo, ya que todo es relativo, como dijo Einstein". ¿Es esta aseveración coherente con lo propuesto por la teoría de la relatividad de Einstein?, ¿por qué?
 - Otra persona afirma: "Que el tiempo sea relativo, según Einstein, se evidencia en hechos como: si estamos entretenidos el tiempo parece transcurrir muy rápido, en comparación a cuando estamos aburridos, en que parece ir muy lentamente". ¿Es a esto a lo que se refiere la teoría de la relatividad?
 - Al rato, otra persona expresa: "Es que yo creo que esa persona tuvo un salto cuántico". ¿A qué se referirá con esto? ¿Será esto compatible con los principios de la mecánica cuántica?
 - Finalmente, llega otro amigo y les dice: "Hoy cambió radicalmente mi forma de ver la vida. Tuve una curación cuántica". ¿Se fundamenta esto desde la teoría cuántica?
- Estudian los problemas científicos que aún existen en la física moderna, y reflexionan a partir de algunas preguntas como:
 - Einstein dijo: "Dios no juega a los dados". ¿Y ustedes, qué opinan?, ¿Dios juega o no a los dados?
 - La gravedad cuántica, ¿es solo un sueño?
 - ¿Existirá una teoría que unifique la relatividad general y la mecánica cuántica?
 - ¿Cuáles son los alcances de la teoría de cuerdas?
 - ¿Qué pretende ser la teoría del todo? ¿Por qué muchos físicos en el mundo la buscan tanto?
 - ¿Por qué hay tantas distorsiones y abusos de información sobre, por ejemplo, la mecánica cuántica?
 - ¿Qué aspectos éticos, sociales y ambientales están relacionados con la física moderna?

Observaciones al docente

- Se sugiere que los estudiantes, antes del conversatorio, recopilen información a través de sus teléfonos celulares u otros medios, y que puedan leerla con calma para poder participar activamente del conversatorio.
- Asimismo, sería necesario invitarles a realizar un recorrido mental sobre el conjunto de actividades que han realizado anteriormente, y sobre cuáles han sido los conceptos y principios fundamentales en estudio.
- El hecho de que los estudiantes dominen más información no implica necesariamente una comprensión más amplia. Por eso, se recomienda recordar lo contra-intuitivo de la física moderna a la hora de la reflexión colectiva. Es importante favorecer un ambiente de libertad intelectual, pero cautelando el respeto en y para la diversidad, lo que ha sido fundamental para el desarrollo científico a lo largo de la historia.

- Existen diversos videos cortos y entretenidos sobre el tema en canales de YouTube, como Date un Voltio o Quantum Fracture.
- La información recabada por los estudiantes puede complementarse con lo siguiente:
 - Que con la famosa frase de Einstein "Dios no juega a los dados" no se discute un tema religioso, sino que la opinión de que él no creía en la mecánica cuántica. Cosa curiosa, dado que con la solución que encuentra al problema del efecto fotoeléctrico, se convierte en uno de los iniciadores de la misma física cuántica; pero que se entiende si se comprende que su teoría de la relatividad se desarrolla en un contexto de un determinismo absoluto y no probabilístico, como lo enseña la mecánica cuántica.
 - Otro problema importante en la actualidad es encontrar un vínculo entre la física cuántica y la teoría de la relatividad, lo que aún parece complejo. Ello se expresa como gravedad cuántica, y entre sus problemas parece estar que se requiere encontrar una partícula elemental asociada a la gravedad, denominada gravitón, pero que hasta el momento no ha sido encontrada.
 - Las teorías de la relatividad y la mecánica cuántica son los dos pilares de la física actual; estas cuentan con una cantidad impresionante de evidencias que las apoyan, pero, hasta el momento, no logran compatibilizarse. Es decir, no disponemos de una física cuántica relativista satisfactoria, pero se piensa que será encontrada próximamente y se la denomina "teoría del todo".
- Sería interesante alertar, por último, sobre los distintos usos y riesgos que plantean la internet y las redes Sociales; los cambios educacionales que se producen por disponer de una gran cantidad de información en la palma de nuestra mano, el problema de la privacidad de nuestras vidas, el problema de los Hackers y de la delincuencia informática, entre otros.

Comunicación de ideas y saberes

- Finalmente, los estudiantes tendrán la misión de diseñar algún recurso (ensayo, infografía, póster científico, novela, mapa conceptual u otro) que permita responder a la siguiente pregunta: ¿Cómo la física moderna contribuye a la reflexión y el debate sobre la naturaleza de la realidad? Se deberá considerar:
 - Aspectos históricos y filosóficos de las ciencias.
 - Crisis de la física clásica.
 - Límites de nuestros sentidos, lógica y percepción.
 - Evidencias científicas.
 - Dudas y desafíos por resolver.
 - Desarrollo científico y tecnológico.

Observaciones al docente

- Existen diversas maneras de socializar un entendimiento. Por eso, es esencial que, en esta última etapa, los estudiantes tengan libertad de expresarse de la forma en que más les acomode. Eso sí, cautelando la inclusión de los criterios señalados.
- Dada la diversidad de propuestas que se elaborará, sería interesante una instancia de socialización de los diseños a la comunidad educativa.
- Es imprescindible, finalmente, un recorrido metacognitivo sobre el proceso desarrollado, considerando los obstáculos, preguntas y sentimientos; oportunidades y desafíos identificados, y las dudas que aún persisten. De esta manera, podrá hacer que su posterior retroalimentación al trabajo sea más afectiva y efectiva.
- De ser posible, y considerando la autorización de los estudiantes, compartir los recursos didácticos en las redes sociales de la Sociedad Chilena de Enseñanza de la Física (SOCHEF).

Algunos indicadores para evaluar formativamente esta actividad pueden ser:

- Analizan críticamente las implicancias del conocimiento de la física moderna en la sociedad, la tecnología y los sistemas naturales.
- Evalúan la validez de información sobre física moderna proveniente de diversas fuentes.

RECURSOS Y SITIOS WEB



- Pérez Arellano, I., Torres Villa, R. (2009). *Nuevos paradigmas de la física moderna*. Esfinge. Recuperado de <https://www.revistaesfinge.com/ciencia/fisica/item/672-71nuevas-paradigmas-en-la-fisica-moderna>
- "El futuro será cuántico o no será": preguntas para entender qué es la física cuántica y cómo afecta nuestras vidas. Recuperado de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-46833112>
- Solbes. J., Sinarcas, V. (2010). Una propuesta para la enseñanza aprendizaje de la física cuántica basada en la investigación en didáctica de las ciencias. *Revista de Enseñanza de la Física*, 57-85.

Actividad de Evaluación. ¿Puedo explicar diversos aspectos sobre la naturaleza de la realidad a partir de los saberes de la física moderna?

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 6. Valorar la importancia de la integración de los conocimientos de la física con otras ciencias para el análisis y la propuesta de soluciones a problemáticas actuales, considerando las implicancias éticas, sociales y ambientales.

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.

OA h. Evaluar la validez de información proveniente de diversas fuentes, distinguiendo entre evidencia científica e interpretación, y analizar sus alcances y limitaciones.

INDICADORES DE EVALUACIÓN

- Aplican conceptos y modelos de la teoría de la relatividad especial y general para analizar fenómenos.
- Explican fenómenos a pequeña escala con base en principios y modelos de la mecánica cuántica.
- Analizan críticamente las implicancias del conocimiento de la física moderna en la sociedad, la tecnología y los sistemas naturales.
- Argumentan la contribución de la física moderna para el debate sobre la naturaleza de la realidad.
- Evalúan la validez de información sobre física moderna proveniente de diversas fuentes.

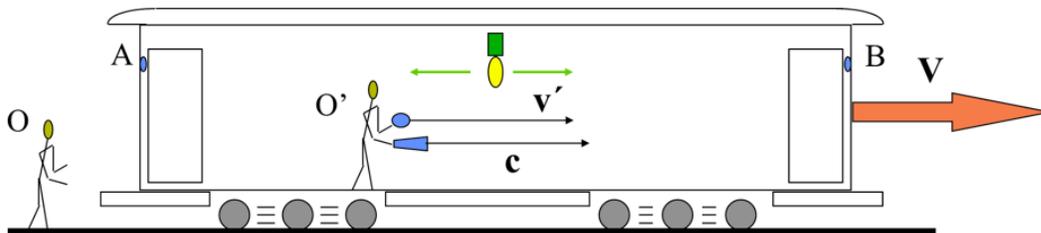
DURACIÓN

7 horas pedagógicas.

Explicación de fenómenos físicos

Sea un vagón de tren que, como indica la figura, se mueve uniformemente y en línea recta con rapidez V hacia la derecha respecto del andén de una estación. Arriba del vagón ocurren varias cosas que debes describir según dos observadores: uno arriba del tren (O') y en reposo respecto de él, y el otro (O) en reposo respecto del andén. Supongan despreciables los efectos del aire en todos los casos.

Analicen la situación por medio del siguiente esquema y realicen las actividades que se indican a continuación, situándose en las posiciones de los observadores O y O' .



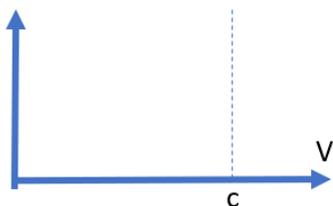
Andén de la estación

1. Una persona arriba del vagón (O') lanza un proyectil con velocidad v' respecto del tren. También enciende una linterna que emite su luz (que viaja con rapidez c), ambas acciones en el sentido que se indica en la figura.
 - a. Según la física de Newton, ¿cuál es la rapidez de la luz y de la piedra (inmediatamente después de ser lanzada) para el observador O fijo al andén?
 - b. Según la física de Einstein, ¿cuál es la rapidez de la luz y de la piedra (inmediatamente después de ser lanzada) para el observador O fijo al andén?
 - c. Anota las respuestas a las preguntas anteriores en la tabla siguiente y completa los otros casilleros, en que L' es la longitud del tren, $\Delta t'$ el tiempo que tarda una manzana en caer desde cierta altura y M' la masa de la manzana; todo ello medido por el observador O' fijo al tren.

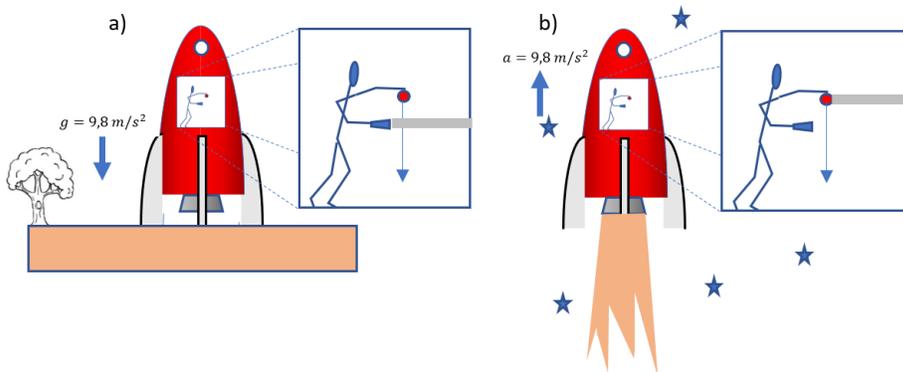
	Medidas realizadas por O' arriba del vagón	Medidas hechas por O en el andén, según Newton	Medidas hechas por O en el andén, según Einstein
Rapidez de la luz	c		
Rapidez del proyectil	v'		
Longitud del tren	L'		
Tiempo que tarda en caer una manzana	$\Delta t'$		
Masa de la manzana	M'		

2. Justo en medio del vagón hay en el techo una ampolleta apagada. En los extremos del vagón hay dos sensores (A y B) tales que, cuando les llega luz, activan un sistema que abre las puertas. Después de encender la luz, ¿qué puerta se abre primero?
 - a. Según la física de Newton.
 - b. Según la física de Einstein.

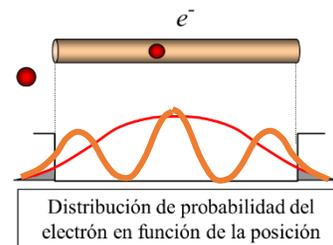
3. Si imaginamos situaciones en que la rapidez del tren es cada vez mayor respecto del andén, ¿qué ocurre con el largo L del tren y con la duración Δt de la caída de la manzana al suelo, para observadores fijos al andén?
 - a. Según la física de Newton.
 - b. Según la física de Einstein.
4. ¿Qué limitaciones tiene el movimiento del tren y los fenómenos que ocurren arriba de él?
 - a. Según la física de Newton.
 - b. Según la física de Einstein.
5. Completen a mano alzada el gráfico siguiente, para el observador fijo al andén, colocando en el eje vertical la longitud L del tren, el tiempo Δt que demora en caer la manzana y la masa M (usen colores distintos para diferenciar las tres curvas).



6. Sobre la teoría especial de la relatividad:
 - a. Señalen y argumenten las consecuencias científicas y sociales más significativas.
 - b. Describan brevemente algunas de las verificaciones experimentales de la dilatación del tiempo y contracción del espacio con que cuenta la teoría especial de la relatividad.
 - c. Señalen, en tres o cuatro líneas, qué cambios en la imagen que tenían sobre la realidad del universo produjo en ustedes conocer la teoría especial de la relatividad.
7. Sobre la curvatura del espacio-tiempo:
 - a. Consideren un cohete en las siguientes situaciones: a) detenido aquí en la superficie terrestre y b) viajando por el espacio con una aceleración igual a $9,8 \text{ m/s}^2$ respecto de las estrellas lejanas. Ambas situaciones se ilustran en la figura siguiente. En el interior del cohete hay científicos que hacen algunos experimentos que se describen en las preguntas. El laboratorio no tiene ventanas que permitan ver hacia el exterior; el cohete es completamente silencioso y la cabina del piloto no tiene comunicación con el laboratorio.



- i. Si los científicos estudian experimentalmente la caída de una manzana en ambos laboratorios, ¿pueden distinguir en qué situación (en la Tierra o en el espacio) se encuentran? Expliquen.
 - ii. ¿Habrá algún experimento mecánico (lanzando proyectiles, haciendo oscilar péndulos, etc.) que les permita a los científicos decidir en qué sistema de referencias se encuentran?
 - iii. Si los científicos lanzan con una linterna un rayo de luz horizontal al suelo del laboratorio, ¿qué es correcto decir sobre la trayectoria que sigue el rayo de luz?
 - Según la física de Newton
 - Según la física de Einstein
 - Según los experimentos
- b. Expliquen cómo Eddington comprobó la curvatura del espacio predicha por la teoría general de la relatividad de Einstein.
- c. Expliquen de qué maneras la materia curva el espacio y qué consecuencias provoca eso en el tipo de geometría que adopta el espacio.
- d. En grupos de tres o cuatro alumnos elaboren un póster que explique, en forma resumida, las principales novedades introducidas por la teoría general de la relatividad, a la imagen del universo que se tenía hasta finales del siglo XIX. Considerar:
- El principio de equivalencia.
 - Las modificaciones introducidas en la geometría del espacio-tiempo.
 - Las principales características de los agujeros negros.
 - Las implicancias cosmológicas.
8. Sobre la realidad en el ámbito de lo muy pequeño:
- a. Realicen una infografía que muestre, a lo largo de la historia, cómo han evolucionado los conceptos sobre la naturaleza granular de la materia (continuidad-discontinuidad) y de su naturaleza corpuscular u ondulatoria.
 - b. Seleccionen y señalen en qué consistían dos problemas que enfrentaba la física a inicios del siglo XX y cómo sus soluciones dieron inicio a la mecánica cuántica.
 - c. Expliquen, por medio de ejemplos y en forma breve (5 o 6 líneas), cada una de las siguientes concepciones de la realidad según la mecánica cuántica:
 - i. La física solo puede predecir la probabilidad de que algo ocurra.
 - ii. Una partícula puede escapar de un pozo de potencial aun cuando no tenga la energía suficiente para hacerlo, como lo señala el gráfico de la derecha, para el caso de un electrón.
 - iii. Un gato puede estar vivo y muerto simultáneamente.
 - d. En relación con el principio de incertidumbre de Heisenberg; expliquen:
 - i. ¿A qué corresponden cada uno de los términos de la expresión: $\Delta x \Delta p \geq \frac{h}{4\pi}$?
 - ii. ¿Por qué según él no podemos observar algo (por ejemplo, un electrón en una caja), sin afectarlo?
 - e. Comparen (señalando semejanzas y diferencias) el “experimento de interferencia en la doble rendija” en las siguientes dos situaciones:
 - i. Ondas superficiales en agua y ondas de sonido en el aire y en la luz (experimento de Young) en que se observa el mismo patrón
 - ii. La interferencia de electrones.



Construcción de argumentos

1. ¿Cuál es el rol de los modelos en las ciencias en general, y en la física moderna en particular?
2. ¿De qué manera contribuye el conocimiento de historia y filosofía de las ciencias en la comprensión de la física moderna?
3. ¿Por qué la física moderna desafía nuestros sentidos, lógica y percepción?
4. ¿Por qué existen tantas distorsiones sobre mecánica cuántica en internet y redes sociales? Discutan sobre usos y abusos de la información.
5. ¿De qué manera la física moderna favorece la reflexión y el debate sobre la naturaleza de la realidad?

Reflexión sobre “¿Qué nos aporta finalmente la física moderna?”

1. Completen el siguiente cuadro, para cada uno de los pilares de la física moderna, con palabras clave e ideas resumidas que den cuenta del impacto científico y cultural.

Pilares de la física moderna	Qué ha cambiado en nosotros, como consecuencia del desarrollo de la física moderna, en lo que se refiere a:	
	La forma en que entendemos la realidad	Los desarrollos tecnológicos
La teoría especial de la relatividad		
La teoría general de la relatividad		
La mecánica cuántica		

Proyecto Interdisciplinario

Manual de orientación

¿Qué es el Aprendizaje Basado en Proyectos?

El Aprendizaje Basado en Proyectos se define como una propuesta de enseñanza que se organiza en torno a un problema o necesidad que se puede resolver, aplicando diferentes perspectivas y áreas del conocimiento. Para encontrar la solución, los estudiantes movilizarán conocimientos, habilidades y actitudes durante todo el proceso hasta llegar a una solución que se expresa en un producto. Los proyectos surgen desde sus propias inquietudes e intereses, potenciando así su motivación por aprender y su compromiso frente al propio aprendizaje.

¿Por qué fomenta el trabajo interdisciplinario?

La complejidad de un problema real o necesidad es la razón que justifica la participación y conexión de distintos saberes y disciplinas. Por ejemplo, los proyectos STEM se desarrollan sobre problemas o necesidades que vinculan ciencia, tecnología, matemática e ingeniería para su solución.

¿Cómo se relaciona con las Habilidades para el siglo XXI?

La metodología de proyecto permite que los estudiantes potencien estas habilidades y actitudes, ya que, por ejemplo, su procedimiento los organiza para que busquen juntos una solución, los desafía para que flexiblemente encuentren una respuesta nueva al problema y para que reflexionen con otros desde diferentes perspectivas, generando así el trabajo colaborativo, la comunicación y el pensamiento crítico y creativo.

¿Cuáles son los elementos del Aprendizaje Basado en Proyectos?

Pregunta o problema central

Los problemas que se aborda en un proyecto se vinculan con situaciones reales y significativas para los estudiantes. Se relacionan con sus inquietudes e intereses y los motivan a explorar y participar activamente en la búsqueda responsable de una solución.

Indagación sostenida

Cuando se enfrentan a un problema desafiante, comienza el proceso de búsqueda para construir soluciones. Durante este proceso, los alumnos hacen nuevas preguntas, utilizan recursos y profundizan los conocimientos.

Autenticidad

Los proyectos tienen un contexto auténtico. Por ejemplo: los estudiantes resuelven problemas que enfrentan las personas fuera de la escuela, pero también pueden centrarse en problemas auténticos dentro de ella. Los proyectos pueden tener un impacto real en los demás, como cuando los alumnos atienden una necesidad en su escuela o comunidad (por ejemplo: diseñar y construir un huerto escolar, mejorar un parque comunitario, ayudar a los inmigrantes locales); también pueden crear algo que otras personas usarán o experimentarán. Un proyecto puede tener autenticidad personal si refleja las preocupaciones, los intereses, las culturas, las identidades y los problemas de los estudiantes en sus vidas.

Voz y elección del estudiante

Los alumnos deben sentir que pueden participar activamente, tomar decisiones, expresar sus puntos de vista, proponer soluciones durante el trabajo en equipo y expresarse por medio de los productos que crean. Participan activamente en un proyecto, desde el momento en que identifican el problema hasta que divulgan el producto; así fortalecen su compromiso y motivación con el propio aprendizaje.

Metacognición

A lo largo de un proyecto los estudiantes –junto con el docente– deben reflexionar sobre lo que están aprendiendo, cómo están aprendiendo y por qué están aprendiendo. La reflexión puede ocurrir de manera informal, como parte de la cultura y el diálogo en el aula, pero también debe ser una parte explícita de los diarios del proyecto, la evaluación formativa programada, las discusiones en los puntos de control del proyecto y las presentaciones públicas de su trabajo. La reflexión sobre el proyecto en sí, cómo se diseñó e implementó, los ayuda a decidir cómo podrían abordar su próximo proyecto y a mejorar la forma de aplicar esta metodología.

Crítica y revisión

Los estudiantes deben estar abiertos a dar y recibir comentarios constructivos acerca del trabajo propio y el de sus compañeros, lo que permite mejorar los procesos y productos del proyecto. Idealmente, tiene que hacerlo según protocolos formales y con el apoyo de rúbricas. Los invitados o expertos externos también pueden ayudar, brindando un punto de vista auténtico y real. La crítica y revisión del trabajo propio permite a los alumnos evaluar los resultados de su aprendizaje, fortaleciendo la evaluación formativa.

Producto público

A diferencia de otras metodologías, en el Aprendizaje Basado en Proyectos la respuesta o solución a la pregunta o problema se expresa en un "producto", que puede ser un artefacto tangible, multimedial o digital, una presentación sobre la solución a un problema, un desempeño o evento, entre otras opciones. Al finalizar el proyecto, los estudiantes tienen que poder presentarlo públicamente; eso aumenta su motivación, ya que no se reduce a un intercambio privado entre profesor y alumno. Esto tiene un impacto en el aula y en la cultura escolar, pues ayuda a crear una "comunidad de aprendizaje", en la cual los estudiantes y los maestros discuten lo que se está aprendiendo, cómo se aprende, cuáles son los estándares de desempeño aceptables y cómo se puede mejorar el desempeño de los alumnos. Finalmente, hacer que el trabajo de los alumnos sea público es una forma efectiva de comunicarse con los pares y los miembros de la comunidad.

¿Qué debo considerar antes de la ejecución de un proyecto?

- Incorporar en la planificación anual de la asignatura una o más experiencias de proyectos, tomando en cuenta el tiempo semanal de la misma.
- Si la asignatura es de 2 horas a la semana, se recomienda incorporar un proyecto acotado o abordar toda una unidad de aprendizaje mediante esta metodología.
- Si la asignatura es de 6 horas semanales, se recomienda destinar un tiempo fijo a la semana (por ejemplo, 2 horas) para el proyecto.
- La planificación anual también debe incorporar la exhibición pública de los proyectos. Se recomienda que sea una instancia en que se invite a los padres, familias, expertos y otros miembros de la comunidad (se sugiere solicitar a la dirección del establecimiento que reserve un día para llevar a cabo la actividad).
- Identificar en los Objetivos de Aprendizaje, tópicos, necesidades o problemas que se pueda abordar interdisciplinariamente con dos o más asignaturas.
- Si el proyecto involucra a dos o más asignaturas, los profesores deben planificarlo juntos y solicitar un tiempo adecuado para ello a su jefe técnico o al director.
- Una vez hecha esta planificación e iniciado el año escolar, se debe explicar a los estudiantes en qué consiste esta metodología, exponerles los tópicos que se identificó en las Bases Curriculares y pedirles que, a partir de ello, propongan problemas o preguntas que se puede resolver o responder mediante un proyecto.
- El Aprendizaje Basado en Proyectos requiere de un trabajo grupal y colaborativo. Cada integrante del grupo debe asumir un rol específico, el cual puede ir rotando durante la ejecución del proyecto.

¿Cómo se organiza y ejecuta el proyecto?

Para organizar el proyecto, se presenta una ficha con diferentes componentes que ayudarán a ejecutarlo. A continuación, se explica cada uno de esos componentes.

Resumen del proyecto

Síntesis del tema general, el propósito y el resultado esperado del proyecto.

Nombre del proyecto

Se recomienda incluir un subtítulo que evidencie el tema o el contenido que se trabaja en el proyecto.

Problema central

En esta sección, se expone un párrafo de la pregunta o problema que se quiere resolver por medio del proyecto. Se recomienda explicar cuál es el tema que se va a resolver y por qué el proyecto puede hacerlo o desarrollar reflexiones profundas en los alumnos.

Propósito

Se explica el objetivo general y específico del proyecto.

Objetivos de Aprendizaje de Habilidades y Conocimientos

En esta sección, se explica cuáles son los Objetivos de Aprendizaje de la asignatura que se desarrollará en el proyecto. Se espera que sean interdisciplinarios, por lo que se recomienda incorporar los OA de las otras asignaturas involucradas.

Tipo de Proyecto Interdisciplinario

Es importante aclarar qué aspectos de las distintas disciplinas se aplicará en el proyecto. Esta sección busca que el docente exponga y explique tales relaciones de manera que sea más fácil guiar el trabajo interdisciplinario. Para esto, conviene que se coordine con los profesores de las otras áreas disciplinares.

Producto

Todo proyecto debe tener como resultado un producto; es decir, algún objeto, aparato, informe, estudio, ensayo, disertación oral, escrita, visual, audiovisual o multivisual para que los estudiantes divulguen el trabajo realizado.

Habilidades y actitudes para el siglo XXI

Es importante que el docente resalte que esta metodología pretende que los alumnos desarrollen habilidades y actitudes del siglo XXI, que son transversales a todas las áreas del currículum. Esto permite que profesores y alumnos sean conscientes de que ellas van más allá de los conocimientos y habilidades disciplinares.

Recursos

Se tiene que describir los componentes, insumos de trabajo, bibliografía o elementos fundamentales para el proyecto.

Etapas

Hay que planificar el proyecto según fases de trabajo, considerando el tiempo destinado al mismo en la planificación anual.

Cronograma semanal

Es importante planificar el avance del proyecto clase a clase; en una sola se puede desarrollar más de una etapa, o una etapa puede durar más de una clase. Lo importante es que la planificación sea clara y ordenada para que profesor y alumnos trabajen de la manera más regular posible, considerando los avances u obstáculos que puedan encontrar en el desarrollo del proyecto.

Evaluación formativa y sumativa

En esta sección, el docente tiene que especificar con qué criterios se evaluará el proyecto y qué instrumentos se aplicará, tanto en la dimensión formativa como en la sumativa. Es importante recordar que la retroalimentación es un componente esencial del proyecto, por lo que profesor debe señalar cómo llevará a cabo dicho proceso.

Difusión final

Dependiendo del objetivo del proyecto, se sugiere que cuando lo terminen, los alumnos dediquen algún tiempo para difundirlo a la comunidad escolar.