



UNIVERSIDAD DE LA RIOJA

TRABAJO FIN DE ESTUDIOS

Título

Innovación docente para la Relatividad Especial e introducción a la Física Cuántica de 2º de Bachillerato.

Autor/es

ASIER IZQUIERDO LANTARON

Director/es

IRENE BAÑOS ARRIBAS

Facultad

Escuela de Máster y Doctorado de la Universidad de La Rioja

Titulación

Máster Universitario en Profesorado, especialidad Física y Química

Departamento

QUÍMICA

Curso académico

2020-21



Innovación docente para la Relatividad Especial e introducción a la Física Cuántica de 2º de Bachillerato., de ASIER IZQUIERDO LANTARON (publicada por la Universidad de La Rioja) se difunde bajo una Licencia Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-SinObraDerivada 3.0 Unported. Permisos que vayan más allá de lo cubierto por esta licencia pueden solicitarse a los titulares del copyright.

Trabajo de Fin de Máster

**Innovación docente para la Relatividad
Especial e introducción a la Física
Cuántica de 2º de Bachillerato**

Asier Izquierdo Lantarón

Tutora: **Irene Baños Arribas**

MÁSTER:

Máster en Profesorado de Educación Secundaria Obligatoria y
Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanza de Idiomas.

Escuela de Máster y Doctorado



**UNIVERSIDAD
DE LA RIOJA**

CURSO ACADÉMICO: 2020/2021

Índice general

Índice general	II
1 INTRODUCCIÓN y JUSTIFICACIÓN.	1
1.1 Introducción.	1
1.2 Justificación.	1
2 MARCO TEÓRICO, ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL.	7
2.1 Marco teórico.	7
2.1.1 <i>Marco teórico. Contenido.</i>	7
2.1.2 <i>Marco teórico. Metodología.</i>	8
2.2 Antecedentes y estado de la cuestión.	20
3 OBJETIVOS y PLAN DE TRABAJO.	21
3.1 Objetivos.	21
3.1.1 <i>Objetivos generales.</i>	21
3.1.2 <i>Objetivos específicos.</i>	23
3.2 Plan de trabajo.	27
4 DESARROLLO DEL TRABAJO y RESULTADOS.	31
4.1 Contextualización curricular.	31
4.2 Contenidos.	32
4.3 Metodología.	35
4.4 Evaluación	45
4.4.1 <i>Criterios de calificación</i>	45
4.4.2 <i>Pruebas de evaluación</i>	45

5 DISCUSIÓN.	47
5.1 Viabilidad.	47
5.2 Beneficios.	51
5.2.1 <i>Autonomía del alumnado</i>	51
5.2.2 <i>Retención a largo plazo mediante la práctica espaciada y la evocación.</i>	52
5.2.3 <i>Aprendizaje significativo</i>	53
6 CONCLUSIONES.	55
Bibliografía	59
A Relatividad Especial. Anexos.	63
A.1 Introducción. Relatividad Especial como caso particular de la Relatividad General.	63
A.2 Introducción. Relatividad Especial. Vídeo interactivo mediante Edpuzzle.	64
A.3 Introducción. El Principio de la Relatividad mediante la enseñanza de la Historia de la Ciencia.	64
A.4 Experimento en directo para deducir la fórmula de la dilatación temporal.	66
A.5 Dilatación temporal. Concurso mediante Kahoot	66
A.6 Paradojas de la Relatividad especial: La paradoja de las gemelas.	67
A.7 Ejercicios resueltos de Selectividad.	70
B Física Cuántica. Anexos.	71
B.1 El gato de Schrödinger en <i>¡Allá tú!</i> . Escape room.	71
B.2 Aplicaciones de la Física Cuántica en la vida cotidiana. Ordenadores cuánticos.	78
B.2.1 Ejemplo de supremacía cuántica. Algoritmo de Shor.	78

Resumen

Este trabajo constituye una unidad didáctica (UD) de carácter original e **innovador** para la enseñanza introductoria de la Relatividad Especial y la Física Cuántica en 2º de Bachillerato.

Los principios que vertebran las actividades expuestas en el marco teórico presentado son el fomento de la curiosidad, la **autonomía**, y el **trabajo cooperativo** del estudiantado, siempre dentro de una subordinación crítica y consciente a la organización del centro educativo.

Asimismo, la metodología docente del presente trabajo (“flipped classroom” o aula invertida, “gamificación” o ludificación, etc.) se fundamenta en los resultados relativos a la evidencia científica en el ámbito psicopedagógico —o “Evidence-based education”—, y toma las prácticas educativas más eficaces (práctica espaciada vs. masiva, intercalada vs. en bloque, evocación, etc.) para el **aprendizaje significativo** del estudiantado en lo relativo a la temática escogida.

Abstract

This work constitutes an original and **innovative** didactic unit (DU) for the introductory teaching of Special Relativity and Quantum Physics in 2nd year of Bachillerato (12th grade in the United States).

The principles underlying the activities presented in the theoretical framework of this work are the promotion of the curiosity, the **autonomy** and the **cooperative work** among the students, always within a critical and conscious subordination to the organization of the educational center.

The teaching methodology of this work (“flipped classroom”, “gamification”, etc.) is based on the results related to scientific evidence in the psychopedagogical field—“ Evidence-based education”—, and takes the most effective educational practices (spaced vs. massive practice, interleaved vs. in block, evocation, etc.) for the **meaningful learning** of the students in relation to the chosen topic.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN y JUSTIFICACIÓN.

1.1. Introducción.

El presente Trabajo de Fin de Máster (TFM) constituye un proyecto original de innovación educativa, mediante el cual se pretende dar constancia, con carácter tanto reflexivo como evaluativo, de las competencias –conocimientos y capacidades– adquiridas en las materias correspondientes a los módulos tanto genéricos como específicos del Máster en profesorado, así como de las desarrolladas durante el periodo relativo al prácticum.

Concretamente, este trabajo consiste en configurar una unidad didáctica (UD) original de naturaleza **innovadora** para la introducción a la Relatividad Especial y la Física Cuántica en 2º de Bachillerato.

Esta unidad didáctica, denominada, “Introducción a la Relatividad Especial y la Física Cuántica”, se enmarca en el Bloque VI, “Física del Siglo XX” [9, p. 13589] [15, p. 277], correspondiente al mencionado curso académico, posterior a la unidad didáctica “Óptica geométrica” y anterior a “Física nuclear”, según un plan de secuencia y temporalización de los contenidos enmarcado en una Programación Didáctica Anual (PDA) como la expuesta en la sección 4.1.

1.2. Justificación.

En cuanto a la justificación más general de la estructura y contenido de este documento, relativa a la metodología didáctica escogida y presentada en la sección 2.1, “Marco teórico”, el presente trabajo permite que el alumnado aprenda de

manera significativa los contenidos establecidos por el Ministerio de Educación Cultura y Deporte, correspondientes al tema escogido: “Introducción a la Relatividad Especial y la Física Cuántica”.

La eficacia de la metodología expuesta en este trabajo está avalada por resultados empíricos, tal como explicaremos en la mencionada sección, “Marco teórico”, sección 2.1.

Asimismo, además de las dinámicas docentes escogidas, generalizables a y reproducibles en otros ámbitos diferentes a la Física de 2º de Bachillerato, el tema “Introducción a la Relatividad Especial y Física Cuántica” ha sido escogido debido a la **trascendencia** de dicho tema **en la investigación científica actual**.

Por tanto, los temas correspondiente a lo denominado **Física Moderna** (Relatividad Especial, Física Cuántica y Física Nuclear, correspondientes al Bloque VI, “Física del Siglo XX”, de 2º de Bachillerato) dan una **imagen más cercana a la Física actual**. Concretamente, son ámbitos que corresponden a un cambio de paradigma, dado mediante una **ruptura con la física clásica**, y, por ello, contribuyen a una **mayor comprensión** de la misma, al mostrar sus límites.

Dicha imagen “correcta” a la investigación física actual resulta más pertinente teniendo en cuenta que la asignatura de Física de 2º de Bachillerato es la primera vez en el currículo académico que se emplea una asignatura en su totalidad para trabajar dicha ciencia natural.

La Relatividad General –marco teórico que generaliza la Relatividad Especial mediante la introducción de la curvatura en el espacio-tiempo– es esencial para el desarrollo de la astrofísica y la **cosmología**¹, y tiene aplicaciones tan importantes como la **tecnología GPS**.

Por otra parte, la Física Cuántica es fundamental en la descripción y entendimiento de todo el **mundo físico en su totalidad**, siendo las disciplinas co-

¹Prueba de esto es que la astronomía de ondas gravitatorias, concretizada en el proyecto LIGO, ha sido la disciplina científica galardonada con el premio Nobel de Física muy recientemente, en el año 2017.

respondientes a escalas microscópicas² –**física nuclear, física atómica, física de partículas, física de la materia condensada, semiconductores, láseres, ordenadores, óptica cuántica**, etc. [21, p. 3]– aquellas en las cuales es más tangible esta teoría.

Por si fuera poco su relevancia en la investigación científica contemporánea, la Relatividad Especial y la Física Cuántica tienen una **aplicabilidad cotidiana inmensa**, lo cual puede hacer que el alumnado perciba fácilmente las tareas referentes a esta temática como útiles, viéndose incrementada su motivación con respecto a esta UD.

Por medio del marco teórico correspondiente a la Relatividad Especial, por ejemplo, el alumnado de 2º de Bachillerato puede comprender fácilmente por qué, debido a la idea de que **la velocidad es relativa** –esto es, depende de los observadores y la velocidad en que se muevan estos los unos respecto a los otros–, parece que un coche se aleja más rápido cuando nos movemos en otro que se desplaza en dirección contraria. Si, por el contrario, fuésemos en la misma dirección, parecería que el otro coche se desplaza más lento de lo que “realmente” –con respecto a una³ transeúnte quieta en la calle– se mueve.

Por otra parte, en lo relativo a disciplinas tan útiles en el día a día como la **informática**, la Física Cuántica es la única vía posible para la mejora de circuitos computacionales.

Esto se debe al límite físico existentes en la fabricación de los transistores que forman los microchips; *i.e.*, llegará un punto (escalas subatómicas, por ejemplo) en el que será físicamente imposible fabricar dispositivos más pequeños. Por lo tanto, la mejora de ordenadores usando un marco teórico clásico es un callejón al final del cual nos encontraremos más pronto que tarde.

Prueba de esto es, por ejemplo, la tendencia a la baja y actual estancamiento

²Aunque “el mundo es cuántico”, a escalas macroscópicas se produce un fenómeno llamado “decoherencia” [10], por el cual los sistemas eligen uno de los estados (sistema clásico, el **gato de Schrödinger** –véase el Anexo B.1, “Principios de la Física Cuántica. El gato de Schrödinger. Escape room.”– muere o vive, pero no los dos estados a la vez) que se hallaban en **superposición** (sistema cuántico, el gato de Schrödinger está “vivo y muerto a la vez”).

³Se empleará el femenino genérico a lo largo del trabajo.

de la denominada “Ley de Moore” [13], ley que dictaba que el tamaño de los circuitos integrados se reducía a la mitad cada dos años.

Concretamente, según las predicciones, a partir de 2025 la ley de Moore no será aplicable [30], puesto que el ritmo de mejora de los transistores habrá bajado considerablemente.

En resumidas cuentas, **pronto no van a poder fabricarse ordenadores más potentes** por la vía empleada hasta ahora: fabricar componentes cada vez más pequeños.

Por lo tanto, para poder evolucionar, los ordenadores necesitarán una nueva teoría informática. Un marco teórico que aproveche las ventajas de ciertos principios de la Física Cuántica. Esta teoría es la **Computación Cuántica**.⁴

Numerosos algoritmos⁵ –véase, por ejemplo, el “Algoritmo de Shor”, en el Anexo B.2.1– demuestran que los ordenadores cuánticos –o, dicho de otro modo, los “dispositivos cuánticos programables”– pueden resolver problemas que los ordenadores clásicos o convencionales son incapaces de resolver a escalas de tiempo factibles. Esta superioridad de los ordenadores cuánticos con respecto a los clásicos se denomina “Supremacía cuántica” (“Quantum supremacy”, en inglés). [1][27]

Además de ser la Física Cuántica la única teoría capaz de mejorar considerablemente la potencia de los ordenadores en un futuro cercano, incluso en las escalas (microscópicas) en las cuales se fabrican los transistores de los procesadores en la actualidad rige el marco teórico relativo a la Física Cuántica. Esta hegemonía, además, se acentuará a medida que se fabrique tecnología más pequeña. [7]

Por otra parte, en el imaginario colectivo, los términos “Relatividad Especial” y “Física Cuántica” adquieren la fama de ser **muy interesantes**. Esta connotación

⁴Véase la actividad de aula referente a las aplicaciones de la Física Cuántica en la vida cotidiana, “Aplicaciones de la Física Cuántica en la vida cotidiana. Ordenadores cuánticos”, sección B.2, con el fin de mejorar la percepción de las tareas del alumnado entorno a esta parte de la UD. Es decir, si el grupo-clase valora que el estudio de la Física Cuántica es útil y tiene aplicaciones prácticas, esto servirá de catalizador para aumentar su umbral de esfuerzo en el aprendizaje de la misma.

⁵Secuencias de pasos lógicos que permiten solucionar un problema.

dota a estas dos ramas de la Física de un aura casi mística. No es para menos, muchas de las cuestiones y aparentes paradojas que plantean la Relatividad Especial y la Física Cuántica son casi filosóficas: por ejemplo, respectivamente, la “**paradoja de las gemelas**” –véase el Apéndice **A.6**– y el “**entrelazamiento cuántico**” –no se incluye un apéndice, por no ser contenido incluido en la legislación vigente. Véase [Wikipedia: Quantum entanglement](#)–.

Como punto en contra, un prejuicio muy generalizado es el de que la Relatividad Especial y la Física Cuántica son temáticas “demasiado complicadas” para la mayoría de la gente. Esto, lógicamente, depende de la profundidad en que se impartan y quieran estudiarse.

Este trabajo pretende demostrar que, transmitiendo los conocimientos de forma adecuada, el nivel del alumnado de 2º de Bachillerato es apropiado para comprender una parte importante de estas dos disciplinas.

Finalmente, la interrelación entre la Relatividad General y la Física Cuántica e integración en una teoría que las una es un reto candente –“**Revolución no acabada**” [21, p. 3]– en la Física **actual**.

Aproximaciones teóricas dispares entre sí tales como la famosa Teoría de Cuerdas o la no tan conocida Gravedad Cuántica de Bucles –en inglés Loop Quantum Gravity [21]– pretenden unificar estas dos ramas de la Física a priori irreconciliables.

Por tanto, se cree que el tema de esta UD puede tener una gran relevancia para la futura formación e inmersión laboral del alumnado, por las razones recién expuestas y que aquí resumimos:

- En cuanto a la metodología, está basada en la evidencia y se ha demostrado su eficacia para el desarrollo personal, académico y profesional del alumnado.

- En lo referente al contenido, la temática de esta UD puede resultarle muy

interesante al estudiantado debido a sus aplicaciones prácticas directas (velocidad relativa, ordenadores cuánticos, etc.), su atractiva connotación en la cultura popular y la situación actual –teoría inacabada, en proceso de unificación– de interrelación de los dos bloques de la UD –Relatividad Especial y Física Cuántica–, interrelación que **cambiaría drásticamente la forma de percibir el mundo físico.**

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO, ANTECEDENTES Y ESTADO ACTUAL.

2.1. Marco teórico.

Separaremos el marco teórico en dos categorías: el relativo al contenido y el relativo a la metodología.

2.1.1. *Marco teórico. Contenido.*

Respecto al contenido, este trabajo trata sobre la Relatividad Especial y la Física Cuántica, a niveles de profundidad adecuados para el curso de Física de 2º de Bachillerato según lo establecido por vía legislativa. [9, p. 13589] [15, p. 277]

Tal como se menciona en la introducción, sección 1.1, y se detallará en la sección 2.2, “Antecedentes y estado actual”, el contenido correspondiente a la Relatividad Especial y la Física Cuántica se impartirá en dos bloques separados.

Esto es así no únicamente por razones didácticas o de adaptación al nivel y necesidades del alumnado acorde a lo determinado legalmente, sino porque la interrelación entre ambas disciplinas, al igual que se explica en el capítulo anterior, está en vías de desarrollo.

Puede entenderse con un ejemplo correspondiente al currículo de esta misma asignatura, aunque referente a otras UD: en el Bloque III, “Interacción electro-

magnética”, se trabajan el campo eléctrico y el campo magnético por separado, porque empíricamente también aparecen así y, además, esta separación analítica facilita la comprensión. Posteriormente, se relacionan ambos campos, remarcando sus diferencias¹, al definir la *inducción electromagnética*.

Sin embargo, esta interrelación no puede hacerse, por el momento, con la Relatividad Especial y la Física Cuántica. Dicha unificación teórica se encuentra actualmente en desarrollo.

2.1.2. Marco teórico. Metodología.

En cuanto a los fundamentos teóricos metodológicos en que se basa el presente trabajo, además de los correspondientes al contenido teórico según lo establecido en la legislación vigente, los recursos docentes a emplear (“flipped classroom” o aula invertida, “gamificación” o ludificación, historia de la ciencia, etc.) se fundamentan en principios relativos a la educación basada en la evidencia científica o “Evidence-based education” [6, min. 23:58], tales como la práctica espaciada vs. masiva, intercalada vs. en bloque y la evocación.

A continuación, se detallan los conceptos metodológicos recién mencionados:

Flipped classroom o aula invertida.

Flipped classroom es un recurso metodológico que consiste en “invertir” las categorías teoría-praxis con respecto al **modelo transmisivo**; *i.e.*, en vez de explicar la teoría en clase, el alumnado la **trabaja previamente** fuera de la misma (en casa, en la biblioteca, etc.).

Procedemos a presentar brevemente dicho modelo transmisivo antes de continuar con el “aula invertida”:

El modelo transmisivo o de transmisión-recepción es aquel en el cual las do-

¹La inexistencia de monopolos magnéticos, por ejemplo, en contrapunto con las cargas eléctricas, las cuales pueden ser positivas o negativas.

centes, consideradas únicas portadoras de conocimiento –en su versión más tradicional–, y, por ende, centro de este modelo, presentan y explican el contenido y guían al alumnado, considerado páginas en blanco.

El mensaje transmitido por el profesorado es considerado verdadero, incuestionable. Por lo tanto, el papel del estudiantado en el “proceso de aprendizaje” consiste en la adquisición y acumulación “**pasiva**” –memorización y repetición, ante el excesivo verbalismo docente– del conocimiento y las competencias expuestas por la docente en un aula cuya distribución es individual y no da pie a debates o trabajos cooperativos que puedan romper con el esquema de la **clase magistral**, eje en este modelo. [29, p. 3]

Dicho modelo puede mejorarse fácilmente mediante la introducción de actividades de carácter **diagnóstico** en el cual se evalúen las **ideas previas** del alumnado, o mediante la composición de grupos heterogéneos que fomenten el **trabajo cooperativo**.

El término grupos “heterogéneos” se refiere, por ejemplo, a grupos de 4 personas formados por 2 personas con capacidades y conocimientos correspondientes a la media en ese momento y materia –sujeto, por supuesto, a constante cambio y, por tanto, revisión–, y una alumna por encima de la media que pueda ayudar a la componente restante cuyas capacidades y conocimientos se encuentran por debajo de la misma –reiteramos, en el momento y materia de formación del grupo–.

Estos leves cambios dotan de considerable **rentabilidad** en cuanto a su eficacia y fácil implementación –metodológica y de recursos–, por lo que resultan ciertamente imperiosos, más teniendo en cuenta que modelos transmitivos severos pueden acarrear carencias futuras como falta de **autonomía** e iniciativa.

Por el contrario, y volviendo con la metodología en cuestión, en la “flipped classroom”, se fomentan con vehemencia en el grupo-aula **actividades participativas** tales como el análisis de ideas y conceptos clave, los debates, los trabajos y ejercicios en grupo y la resolución de dudas de forma **cooperativa**.

Justificación.

La justificación para el empleo de esta metodología es patente. Tal como ha sido mencionado, fomenta la **participación** del alumnado, en comparación con la escucha o recepción pasiva de la metodología tradicional.

Además, este método se adapta más al escenario que el alumnado se encontrará en su **inmersión laboral**. Esto es así debido a que gracias a la presencia de las TIC² el ejercicio **puramente memorístico** resulta anacrónico, sin querer afirmar que cierto grado de memorización es necesaria para la construcción del conocimiento.

Es decir, ¿por qué dar más relevancia a la memorización que a la **práctica** de lo memorizado si en el futuro trabajo asalariado el alumnado va a tener acceso a internet y, por ende, la mayoría de la información memorizada en los centros educativos convencionales?

A parte de ser un sinsentido –y, reiteramos, no se niega la necesidad de memorizar cierto “mínimo” para carecer de una dependencia total respecto a las TIC³–, desde un punto de vista **materialista** –considerando el tiempo una materialidad–, es imprescindible pensar en las condiciones objetivas del estudiantado y la **limitación temporal** existente en el desarrollo de todo currículo académico.

En pocas palabras, es altamente probable que durante el curso llegue el punto en que haya que elegir entre la **disyuntiva de dar más prioridad a la memorización o la práctica**. Esta metodología, tal como resulta obvio, apuesta por el **camino de la praxis**.

La clave es la **comprensión** de las ideas, no únicamente la memorización de las mismas o la memorización de datos que luego se olvidarán porque no se usan.

Por consiguiente, tal como se desarrollará en la sección 4.4, “Evaluación”, las pruebas de evaluación correspondientes a esta UD deberán ser coherentes con la mencionada metodología.

²TIC o Tecnologías de la información y la comunicación.

³Sin embargo, ¡nos referimos a **la memoria que se construye con la práctica!**

En pocas palabras, deberán fomentar la práctica y **no la memorización que carece de aplicación**, mediante, por ejemplo, el **consentimiento de apuntes** u otros soportes materiales puramente teóricos durante la ejecución de las **pruebas escritas** que formarán parte de dicho sistema de evaluación.

Por otra parte, el **trabajo previo** a la realización de las actividades de aula podría considerarse casi una condición *sine qua non* el “aula invertida” no podrá llevarse a cabo de forma eficaz. Esto presenta un potencial punto en contra relevante.

Por ello, podría decirse que esta dinámica pedagógica exige, para la participación del alumnado, una adecuada **gestión** de la **motivación** de éste por parte de la docente: por ejemplo, mediante el cálculo de la carga de trabajo, sustentado, en todo momento, por el feedback (reacciones, opiniones, evolución del porcentaje del grupo-aula en cuanto a realización de las tareas, aspectos cualitativos –como pueden ser la calidad o profundidad y corrección– en la realización de las tareas, resultados académicos, etc.) por parte del alumnado.

Concretamente, existen numerosas vías para recibir opiniones sinceras del alumnado, no coaccionadas por la creencia de que el profesorado tomará una actitud vengativa –les cogerá “manía”– si se oponen al mismo. Un ejemplo de estas vías son las **encuestas anónimas online** [12].

Efectuadas de forma regular, además de cumplir la función de regulación de carga de trabajo anteriormente citada, las encuestas de opinión anónimas sirven para **hacer partícipe al alumnado** de su propia educación, formación y desarrollo académico y personal.

Acciones de esta naturaleza promueven la **autonomía** del alumnado, principio fundamental de la presente UD. Tengáse en consideración, asimismo, que dicha capacidad aparece enmarcada en las **competencias claves** regidas por la Orden ECD/65/2015, de 21 de enero –precisamente, por medio de la **competencia de aprender a aprender** (CPAA)– [16, p. 11].

Además de asumir más responsabilidades y tomar más decisiones correspon-

dientes a su propia educación, el alumnado puede, mediante el **trabajo cooperativo** en las clases, determinar **objetivos comunes** junto a sus compañeras. Según la Orden ECD/65/2015 mencionada en el párrafo anterior, esta característica podría ubicarse en la **competencia social y cívica** (CSC). [16, p. 11]

No obstante, la autonomía del alumnado no es contraria a los mecanismos que pueda poner el profesorado, desde una concepción de la enseñanza ajena al **autoritarismo**, para guiar al mismo: por ejemplo, facilitar apuntes, acotar y explicitar para el alumnado el contenido que quiere trabajarse de cara a cumplir lo establecido por la legislación vigente, resaltar, en este sentido, las ideas y conceptos clave, etc.

Por otra parte, se considera que, mediante una gestión adecuada y pactada –al menos en cuanto a las señales que el alumnado pueda enviar– de la carga de trabajo, el método que se describe en esta sección es propicio para alentar la **práctica espaciada**, la cual se desarrollará con más detalle en el apartado 2.1.2.

La contribución de la “flipped classroom” al fomento de la práctica espaciada se afirma porque se garantiza, en cuanto a condición *sine qua non* de la presente metodología, el **trabajo previo** del alumnado, lo cual, gestionado de forma adecuada y amparado por la realización de **trabajo cooperativo** en horario lectivo (resolución de dudas, debates, etc.), puede contribuir a que el estudiantado **fraccione sus esfuerzos** en vez de postergar sus estudios para la víspera de las pruebas de evaluación.

Junto a esta práctica espaciada, dejar espacios en horario lectivo para la **resolución de dudas** con carácter tanto tutorial como cooperativo ayuda a **consolidar el aprendizaje**, dotándolo de cierta percepción de aplicabilidad cotidiana independiente al contenido. Por ejemplo, una alumna podría pensar: “estudiaré esto para mañana para no aburrirme tanto en clase, ayudar a mis compañeros, etc.”.

No obstante, se reitera la importancia de que la parte docente calcule bien la **carga de trabajo** que supondrá cada tarea, teniendo una visión global del resto de asignaturas, los demás quehaceres del alumnado (trabajo doméstico y de

cuidados, pequeños trabajos asalariados como las clases particulares, etc.) y su necesidad de ocio.

Otro argumento más para la utilización de esta metodología es la **atención a la diversidad**. Por ejemplo, la realización de resolución de dudas en el grupo aula, en lugar de una explicación unidireccional, puede ser útil para mejorar el aprendizaje y el rendimiento, preferentemente, del alumnado que presente dificultades relevantes no imputables a falta de estudio o esfuerzo [15, p. 182].

Aparte de ser una metodología acorde a la diversidad de ritmos de aprendizaje, pone énfasis en un elemento **diagnóstico** más inmediato y que, por tanto, promueve un seguimiento más continuo como pueden ser las **interrogaciones** –tanto **preguntas dirigidas** como dudas planteadas por el alumnado– durante la realización de actividades en clase de forma cooperativa.

Finalmente, esta estrategia instructiva acrecienta la **motivación** del alumnado al ser éste proclive a, debido a la mera inversión espacial de la teoría y la praxis, percibir las tareas como algo novedoso y divertido.

Además, con respecto a más acciones que atractivas para el alumnado, junto a la consecución de los mencionados objetivos comunes mediante el trabajo grupal de clase, puede dotarse al alumnado de **mayor poder de decisión**, por ejemplo, permitiendo que elija, entre los ejercicios que se recomienda hacer durante una hora lectiva, el orden en que el grupo los efectuará.

Gamificación o ludificación.

La gamificación⁴ o ludificación, como la propia terminología indica, consiste en dar un carácter recreativo o lúdico a procesos que por lo común no lo tienen. Es decir, traslada la mecánica de los juegos al ámbito educativo y profesional.

Un ejemplo de gamificación podría ser una “**escape room**” virtual elaborada mediante, por ejemplo, la plataforma online **Genially**. Es decir, mediante presenta-

⁴“Gamificación”, adaptación del término inglés “gamification”. En castellano, traducido literalmente, “jueguificación” o “ludificación”.

ciones con diapositivas interactivas.

Para etapas educativas más tempranas –primer ciclo de la ESO, por ejemplo– la plataforma de gestión del comportamiento mediante ludificación **ClassDojo** es de las más populares. Permite conectar al alumnado, el profesorado y las familias y ofrece otras utilidades como dar feedback al alumnado en tiempo real por medio de un sistema de **economía de fichas**⁵ y crear grupos o elegir a una estudiante al azar.

La gamificación propugna el hecho empíricamente comprobado de que se aprende de manera más profunda y significativa y, por ende, más duradera y eficaz, desde el prisma de la **diversión** –la cual tiene unos resultados irrefutables en materia de **motivación**– y no desde la obligación.

En un contexto histórico en que el alumnado se muestra, debido a ciertos factores coyunturales (pandemia global y las restricciones que ello supone) como estructurales (ineficacia y despotismo del sistema educativo, proceso de proletarización del contexto familiar e inhibición del **ascensor social** sobre todo en las generaciones más jóvenes, etc.), más desalentado que en épocas anteriores, fomentar su motivación resulta más indispensable que nunca.

Concretamente, la gamificación se basa en la evidencia científica de que el **refuerzo positivo** –fomentar un comportamiento (“refuerzo”) con recompensas⁶– es notablemente más eficaz –no sólo en cuanto resultados, también en lo referente a la rapidez– que los **castigos**. [24]

Una vez más, cabe matizar, mediante el empleo de esta dinámica didáctica no se niega la necesidad de cierta obligación, esfuerzo y, por tanto, disciplina. Sin embargo, se pretende que el alumnado aprenda de manera eficaz (benefi-

⁵Por lo que se expondrá en las siguientes líneas, es más eficaz crear, en dicha economía de fichas, más acciones que sumen puntos en comparación a acciones que los resten. Además, ofrecer recompensas como grupo-clase –teniendo en cuenta la suma de todos los puntos de un aula, por ejemplo– en su conjunto ayuda tanto a la **solidaridad** como a la **regulación** entre iguales.

⁶Concretamente, desde el marco teórico de la psicología conductista –más precisamente, la estrategia de enseñanza denominada **condicionamiento operante**– desarrollada por B. F. Skinner, “positivo” [“negativo”] significa que se añade [elimina] un estímulo, y “recompensa” [“castigo”] que se fomenta [reduce o inhibe] un comportamiento. [26, p. 17]

cio máximo) mediante el mayor placer posible (coste mínimo), para que la ratio coste-beneficio sea mínima. Por expresarlo de una manera matemática:

$$\frac{\text{coste}}{\text{beneficio}} \ll 1, \quad (2.1)$$

donde “ $\ll 1$ ” significa que el coste es “mucho menor” que el beneficio. Esta expresión es imprecisa en el sentido de que no se sabe exactamente cómo de “pequeño” es el ratio de la ecuación 2.1 –o, lo que es equivalente, cómo de “menor” es el coste con respecto al beneficio–, pero es una expresión precisa en el sentido de que implica cierto control sobre el coste –en este caso, por ejemplo, la desmotivación, la frustración y el aburrimiento del alumnado–.

Además de incrementar la motivación del alumnado, la presente estrategia de aprendizaje, al igual que el “aula invertida” promueve el **aprendizaje práctico** puesto de relieve en la sección anterior, porque los mecanismos propios de los juegos conllevan una gran **interacción** con el contenido y **participación** por parte del alumnado. Esto, además de dotar a esta metodología de un carácter práctico, hace que el alumnado se sienta **protagonista** del proceso de aprendizaje.

Historia de la ciencia.

Al igual que se vio en la asignatura *Complementos para la formación disciplinar*, la Historia de la ciencia es útil para enseñar ciertas características tanto del método científico como de los contenidos logrados mediante el correcto uso de dicha forma de proceder.

A continuación se explica la aplicabilidad docente de la Historia de la ciencia en estos dos aspectos:

El método científico mediante la Historia de la ciencia.

En lo relativo a las lecciones referentes al método científico, un manejo adecua-

do de la Historia de la ciencia es apropiado para que el alumnado aprenda que el desarrollo de la ciencia **no es** completamente **lineal**.

Es decir, la ciencia no está exenta de caminos erróneos y/o fases históricas en las cuales su tasa de crecimiento disminuye considerablemente. Por ejemplo, en comparación con el desarrollo de la Física en el siglo XX, este ámbito se encuentra actualmente en un momento de “bloqueo” del que no logra salir.

Siguiendo con este ejemplo, cabe destacar, sin embargo, que los retos a los que se enfrenta la ciencia actual pueden deberse a que existe un **límite tecnológico**, tal como se menciona en la sección 1.2, “Justificación”.

Dicho límite físico –tal como se menciona también en la sección 1.2, la limitación de reducir la escala de los transistores a escalas por debajo de la atómica– no se verá solventado a menos que se dé un cambio drástico de paradigma, como puede ser el desarrollo de los mencionados ordenadores cuánticos.

Por ejemplo, ciertos experimentos relativos a la cuantificación del espacio-tiempo –al igual que la luz o campo electromagnético está dividida en fotones, el espacio-tiempo, o su equivalente, el campo gravitatorio, estaría compuesto por entidades o *cuantos* (*quanta*, en latín⁷) similares⁸–, cuyo marco teórico es, por ejemplo, la mencionada Gravedad Cuántica de Bucles (posible unificación de la Relatividad General y la Física Cuántica), no pueden realizarse debido a que se darían a escalas espaciales (escala de Planck, 1.6×10^{-35} m) muchísimo menores a la resolución de los dispositivos de medición de longitud actuales.

Contenidos científicos mediante la Historia de la ciencia.

Como cualquier proceso evolutivo, la ciencia, ha ido, cronológicamente, ad-

⁷De aquí el origen de la palabra “Cuántica”.

⁸La diferencia es que el campo gravitatorio es el campo en el que habitan los demás campos de las fuerzas fundamentales (electromagnético, nuclear débil y fuerte). Es decir, haciendo una analogía campos = animales, antes se creía que los animales que forman las interacciones fundamentales vivían en una isla denominada espacio-tiempo. Ahora se ha considerado la posibilidad de que lo que parecía una isla no es más que una ballena gigante (es decir, en vez de un “lugar”, es otro animal o campo) [21]. Por tanto, si el resto de campos o animales pueden cuantificarse, el campo gravitatorio también debería. Es decir, el espacio-tiempo, visto lo suficientemente de cerca, no sería continuo sino discreto, dividido en pequeñísimos trocitos.

quiriendo mayores niveles de complejidad. El aprendizaje de cualquier disciplina también es un proceso evolutivo, tal como lo es una etapa académica y, en este caso, la asignatura de Física de 2º de Bachillerato.

No obstante, es cierto que muchas de las ideas planteadas a lo largo de la historia se darán de forma más superficial, por adaptar los contenidos al **tiempo** y **capacidades** del alumnado. Sin embargo, puede que muchos conceptos, sobre todo en su etapa más primigenia, coincidan con el nivel que corresponde al curso seleccionado.

Esto puede resultar motivador para el alumnado: el descubrir, por ejemplo, que pueden entender por completo la aportación a la Relatividad Especial de un científico tan sonado como Galileo .

Debido a los argumentos recién manifestados, los contenidos de esta UD están planteados por **cronología histórica**. Es decir, la secuencia de sesiones sigue el orden en que se descubrieron los conceptos a explicar. Estas ideas, por supuesto, han sido adaptadas a las características y necesidades del alumnado de 2º de Bachillerato.

Asimismo, a pesar de que la Relatividad especial y la Física Cuántica son contemporáneas –es decir, desarrollaron sus principios fundamentales casi de forma simultánea–, evolucionaron por separado. Tal como ha sido mencionado, el **proceso de unificación** de estas dos ramas de la Física todavía no ha sido resuelto.

Por tanto, separar la UD analíticamente en dos apartados diferentes no es una mera cuestión de adaptación curricular, se debe a que actualmente sigue sin haber un consenso acerca del marco teórico que podría unificar ambas disciplinas.

Práctica espaciada.

Como bien indica el término, reside en espaciar una práctica –en este caso, una unidad de estudio, aunque podría tratarse, por ejemplo, también del desarrollo

de una habilidad– a lo largo del tiempo. [3, p. 6] [6, min. 29:39]

Aunque la antítesis de la práctica espaciada, la práctica masiva (por ejemplo, estudiar muchísimo el día antes del examen), ayuda al rendimiento a corto plazo (por ejemplo, efectuar bien un examen), la práctica espaciada (por ejemplo, distribuir la lectura de una presentación o el estudio a lo largo del tiempo) conlleva a la **retención a largo plazo** del conocimiento. [3, p. 6]

Por tanto, además de considerar al objetivo parcial –y relativo a plazos de tiempo cortos y medios– de aprobar los exámenes, ha de ponerse énfasis en la retención de dicho conocimiento a escalas de tiempo más elevadas, puesto que el fin último de la enseñanza, desde un enfoque metodológico basado en las **competencias clave**, es el pleno desarrollo personal, social y profesional del estudiantado [16, p. 1].

No son objetivos contradictorios, una programación didáctica que espacia sesiones de estudio de forma apropiada sobre un tema en particular puede producir tanto un buen rendimiento en los exámenes como una buena retención a largo plazo. [3, p. 6]

Además de ser útil tanto para aprobar exámenes a corto y medio plazo como para la retención de conocimiento a largo plazo, debido a que el nuevo aprendizaje depende de los **conocimientos previos**, la retención más duradera que proporciona la práctica espaciada también da una base para la mejora en la adquisición de nuevo aprendizaje, posterior al uso de la práctica aquí descrita. [3, p. 6]

Práctica intercalada.

En contraposición con la práctica en bloque, la práctica intercalada consiste en incluir en una misma sesión de estudio **contenido de diferentes temáticas** o, aunque haga referencia a un mismo contenido, combinar tareas de naturaleza diferente. [3, p. 7]

Por ejemplo, siguiendo con el ejemplo del campo electromagnético menciona-

do anteriormente, podrían explicarse en una misma sesión el campo eléctrico y magnético, estableciendo sus similitudes y divergencias.

No obstante, para la UD expuesta en este documento, ante la falta de paralelismos plenamente equivalentes entre la Relatividad Especial y la Física Cuántica, no se combinarán contenidos de diferente temática en una misma sesión, sino que se optará por la vía restante: mezclar tareas de diferentes características en cuanto a esfuerzo requerido, habilidades que se desarrollan, etc. Véase la sección 3.2, “Plan de trabajo”, para ver el tipo de actividades a las que se refiere la línea anterior.

Al igual que ocurre con la práctica espaciada vs masiva, la práctica intercalada es superior a su antítesis, la práctica en bloque, en lo que se refiere a **retención de conocimiento a largo plazo** –concretamente, 63 % vs 20 % de problemas nuevos efectuados de forma eficaz una semana después de la práctica [20, p. 493, Fig. 4]– y **transferencia del aprendizaje** o interrelación con conocimientos previos. [3, p. 7]

Evocación.

Consiste en pedir al alumnado que recupere los conocimientos almacenados en su memoria [6, min. 31:23]. Puede realizarse, por ejemplo, mediante **evaluaciones** recurrentes en las que se pide recordar contenido dado anteriormente.

Esta práctica, al igual que las dos anteriores, conlleva también un aprendizaje más duradero frente a sus antítesis –como el repaso y la lectura, en este caso concreto–, y hace que la información adquirida esté más accesible cuando se necesita [6, min. 31:57]. Por ejemplo, una lectura rápida puede ser eficaz para cierto tipo de examen, pero no implica un aprendizaje verdaderamente significativo.

La **evidencia científica** sobre la eficacia de la evocación es **muy sólida**. Se ha probado en numerosos estudios efectuados en contextos (laboratorios, aulas, etc.), modalidades en la presentación de material, materiales, edades y asignatu-

ras muy diversas. [6, min. 32:43]

2.2. Antecedentes y estado de la cuestión.

En lo referente a la situación actual del tema a tratar, tal como ha sido mencionado anteriormente, el marco teórico que fundamenta este trabajo puede separarse analíticamente en dos categorías: los **contenidos** y la **metodología**.

Respecto al estado de la cuestión de los contenidos, debido a que se trata del último curso de Bachillerato –dicho de otro modo, de materia que puede entrar en las pruebas de acceso a la universidad–, existe numerosa bibliografía que contiene apuntes y ejercicios resueltos o solucionarios sobre Relatividad Especial y Física Cuántica.

Asimismo, se ha resaltado en apartados anteriores que la unificación de la Relatividad Especial y la Física Cuántica es un **reto actual**. No obstante, por separado, ambas disciplinas cuentan con una evidencia empírica irrefutable. Es su integración en una teoría única lo que se encuentra en desarrollo.

Este trabajo no pretende innovar tanto en cuanto al contenido, sino en cuanto a la metodología. Precisamente, pretende tomar recursos metodológicos **diversos**, expuestos en el marco teórico, sección 2.1, secuenciados de forma coherente y eficaz.

En cuanto al estado de la cuestión metodológica. Tal como se ha precisado, cada estrategia de aprendizaje de las mencionadas cuenta con un respaldo científico sólido, dado a través de la bibliografía. No obstante, la literatura actual no cuenta con combinaciones de muchos de los métodos presentados.

Capítulo 3

OBJETIVOS y PLAN DE TRABAJO.

En el actual capítulo se presentan las metas (generales y específicas) que se pretenden conseguir con la propuesta innovadora sobre la cual versa nuestro trabajo y el plan de acción o metodología para la consecución de las mismas.

3.1. Objetivos.

A continuación se expone el aporte pretendido por medio de este trabajo, es decir, mediante la concreción del currículo y la estrategia de aprendizaje correspondiente a la UD “Introducción a la Relatividad Especial y Física Cuántica”, perteneciente al Bloque “Física del siglo XX” de la asignatura de Física de 2º de Bachillerato, a implantar en un centro docente, desarrollando **metodologías didácticas adaptadas a la diversidad** del alumnado.

Respectivamente, se detallan los fines tanto generales como específicos:

3.1.1. *Objetivos generales.*

Al tratarse de la implantación innovadora de una UD, los objetivos son expresados en términos de las capacidades que el alumnado ha de adquirir al finalizar el proceso de aprendizaje correspondiente a este trabajo, teniendo en cuenta tanto los objetivos de la etapa académica como los relativos a la temática o asignatura abordada. Junto a cada objetivo general, se expresan las **competencias clave** que se derivan del mismo.

1. Comprender y utilizar las **estrategias** propias del método científico (búsqueda de información, descripción, análisis y tratamiento de datos, formulación de hipótesis, diseño de métodos de contraste, elaboración de conclusiones y comunicación de los conocimientos adquiridos), empleadas en la construcción de la Relatividad Especial y la Física Cuántica, de modo que capaciten para la investigación científica generalizable a otras áreas. Competencia clave: Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT).
2. Comprender las limitaciones de la Física y la investigación científica en general, como materias sujetas a continuos avances y modificaciones, y, por tanto, comprendiendo su aprendizaje dinámico con una actitud flexible y abierta. Competencia clave: Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT) y competencia para aprender a aprender (CPAA).
3. Reconocer los principales **retos actuales** de la investigación científica de la Relatividad Especial y la Física Cuántica. Competencia clave: Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT).
4. Utilizar de forma autónoma los **aprendizajes prácticos** correspondientes a la Relatividad Especial y la Física Cuántica, comprendiendo las **ideas clave**. Competencia clave: Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT).
5. Valorar las **aplicaciones prácticas** (tecnología GPS, ordenadores, etc.) de la Relatividad Especial y la Física Cuántica y su contribución al desarrollo y **bienestar social**. Competencia clave: Competencias sociales y cívicas (CSC).
6. Manifestar **solidaridad** a la hora de resolver problemas. Competencia clave: Competencias sociales y cívicas (CSC).

7. Utilizar las TIC para **extraer información y evaluarla de forma crítica**, realizar simulaciones, etc. correspondiente a la Relatividad Especial y la Física Cuántica. Competencia clave: Competencia digital (CD).
8. Expresar conceptos correspondientes a la Relatividad Especial y la Física Cuántica de manera oral y escrita, mediante una comunicación constructiva. Competencias clave: Competencia en comunicación lingüística (CCL) y competencias sociales y cívicas (CSC).
9. Valorar la influencia de los conceptos aportados por la Relatividad Especial y la Física Cuántica en la **evolución cultural** de la sociedad, diferenciando la evidencia científica de las creencias populares o propias del imaginario colectivo. Competencia clave: Conciencia y expresiones culturales (CEC).
10. Desarrollar **hábitos de estudio y disciplina**, sustentados por la evidencia científica (práctica espaciada e intercalada, evocación, etc.) para el **aprendizaje significativo** tanto de esta UD como de las siguientes. Competencia clave: Competencia para aprender a aprender (CPAA).

3.1.2. *Objetivos específicos.*

Los objetivos específicos al contenido de esta UD vienen dados por los **cri- terios de evaluación –y estándares de aprendizaje evaluables** relacionados con los mismos– determinados por vía legislativa. [9, p. 13589-13590] [15, p. 277]

1. Valorar la **motivación** que llevó a **Michelson y Morley** a realizar su experi- mento y discutir las implicaciones que de él se derivaron.¹ **Competencias**

¹A pesar de que no se explicita legislativamente, en paralelismo al objetivo “explica las limi- taciones de la física clásica al enfrentarse a determinados hechos físicos, como la radiación del cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico o los espectros atómicos” que aparecerá a continuación al introducir el segundo apartado de esta UD, “Física Cuántica”, creemos que podría aplicarse un paralelismo en este caso.

Es decir, al igual que se presenta el binomio Física Clásica vs. Cuántica, con el fin de exponer las limitaciones de la primera concepción, oponer Física prerrelativista a la física relativista, puesto que seguir esquemas paralelos en los dos bloques puede ayudar al alumnado a la comprensión

clave: Comunicación lingüística (CCL) y Conciencia y expresiones culturales (CEC).

- 1.1. Explica el papel del **éter** en el desarrollo de la Teoría Especial de la Relatividad.
- 1.2. Reproduce esquemáticamente el experimento de Michelson-Morley así como los cálculos asociados sobre la **velocidad de la luz**, analizando las **consecuencias** que se derivaron.

2. Aplicar las **transformaciones de Lorentz** al cálculo de la **dilatación temporal** y la **contracción espacial** que sufre un sistema cuando se desplaza a velocidades cercanas a las de la luz respecto a otro dado.² **Competencias**

clave: Comunicación lingüística (CCL), Conciencia y expresiones culturales (CEC), Competencias sociales y cívicas (CSC), Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT) y Aprender a aprender (CPAA).

- 2.1. Calcula la **dilatación** del tiempo que experimenta un observador cuando se desplaza a velocidades cercanas a la de la luz con respecto a un sistema de referencia dado aplicando las transformaciones de Lorentz.
- 2.2. Determina la **contracción** que experimenta un objeto cuando se encuentra en un sistema que se desplaza a velocidades cercanas a la de la luz con respecto a un sistema de referencia dado aplicando las transformaciones de Lorentz.

del contenido.

Concretamente, el marco teórico de la física prerrelativista es insuficiente para razonar, por ejemplo, la existencia de una velocidad límite –la velocidad de la luz–.

Posteriormente, se presentarían los principios de la relatividad de Einstein, denominada física relativista o Relatividad Especial y se explicaría como resuelven los problemas planteados por la física prerrelativista. Es decir, el desarrollo científico se plantea como una serie de resoluciones de “conflictos” o problemas que surgen en todo proceso evolutivo.

²Estrictamente, esta parte del currículo está mal redactada en el Boletín Oficial del Estado. Dicha dilatación temporal y contracción espacial que sufre un sistema que se desplaza con respecto a otro se da **¡para cualquier velocidad** (de un sistema con respecto a otro)!

No obstante, cuanto mayor sea dicha diferencia de velocidad –siendo la velocidad de la luz la velocidad máxima (éste, la velocidad de la luz, sería el punto “**absoluto**” de la teoría relativista de Einstein) posible de cualquier sistema. De ahí la expresión escrita en la legislación –“cuando se desplaza a velocidades cercanas a las de la luz”–, más ostensibles son los fenómenos planteados.

3. Conocer y explicar los **postulados** y las **aparentes paradojas** de la **física relativista**³. **Competencias clave:** Comunicación lingüística (CCL), Conciencia y expresiones culturales (CEC), Competencias sociales y cívicas (CSC), Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT) y Aprender a aprender (CPAA).
 - 3.1. Discute los postulados y las aparentes paradojas asociadas a la Teoría Especial de la Relatividad y su **evidencia experimental**.
4. Establecer la **equivalencia** entre **masa y energía**, y sus consecuencias en la **energía nuclear**. **Competencias clave:** Comunicación lingüística (CCL), Conciencia y expresiones culturales (CEC), Competencias sociales y cívicas (CSC), Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT) y Aprender a aprender (CPAA).
 - 4.1. Expresa la relación entre la **masa en reposo** de un cuerpo y su velocidad con la energía del mismo a partir de la masa relativista.⁴
5. Analizar las fronteras de la física a finales del s. XIX y principios del s. XX y poner de manifiesto la **incapacidad de la física clásica** para explicar determinados procesos. **Competencias clave:** Comunicación lingüística (CCL), Conciencia y expresiones culturales (CEC), Competencias sociales y cívicas (CSC), Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT) y Aprender a aprender (CPAA).
 - 5.1. Explica las **limitaciones de la física clásica** al enfrentarse a determinados hechos físicos, como la **radiación del cuerpo negro, el efecto fotoeléctrico o los espectros atómicos**.
6. Conocer la **hipótesis de Planck** y relacionar la **energía de un fotón** con su frecuencia o su longitud de onda. **Competencias clave:** Comunicación lingüística (CCL), Competencias sociales y cívicas (CSC), Competencia

³Como puede ser, por ejemplo, la negación del concepto absoluto de **simultaneidad**.

⁴También denominada "relación masa-energía".

matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT) y Aprender a aprender (CPAA).

6.1. Relaciona la **longitud de onda o frecuencia** de la radiación absorbida o emitida por un átomo con la energía de los niveles atómicos involucrados.

7. Valorar la hipótesis de Planck en el marco del **efecto fotoeléctrico**.

7.1. Compara la predicción clásica del efecto fotoeléctrico con la **explicación cuántica** postulada por Einstein y realiza cálculos relacionados con el trabajo de extracción y la energía cinética de los fotoelectrones.

8. Aplicar la **cuantización de la energía** al estudio de los **espectros atómicos** e inferir la necesidad del **modelo atómico de Bohr**. **Competencias clave:** Comunicación lingüística (CCL), Competencias sociales y cívicas (CSC), Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT) y Aprender a aprender (CPAA).

8.1. Interpreta espectros sencillos, relacionándolos con la composición de la materia.

9. Presentar la **dualidad onda-corpúsculo** como una de las grandes **paradojas** de la física cuántica. **Competencias clave:** Comunicación lingüística (CCL), Competencias sociales y cívicas (CSC), Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT) y Aprender a aprender (CPAA).

9.1. Determina las longitudes de onda asociadas a partículas en movimiento a diferentes escalas, extrayendo conclusiones acerca de los **efectos cuánticos a escalas macroscópicas**.

10. Reconocer el **carácter probabilístico** de la mecánica cuántica en contraposición con el **carácter determinista** de la mecánica clásica. **Competencias**

clave: Comunicación lingüística (CCL), Conciencia y expresiones culturales (CEC), Competencias sociales y cívicas (CSC), Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT) y Aprender a aprender (CPAA).

10.1. Formula de manera sencilla el **principio de incertidumbre de Heisenberg** y lo aplica a casos concretos como los orbitales atómicos.

11. Describir las características fundamentales de la **radiación láser**, los principales tipos de láseres existentes, su funcionamiento básico y sus principales aplicaciones.⁵ **Competencias clave:** Comunicación lingüística (CCL), Competencias sociales y cívicas (CSC), Competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT) y Aprender a aprender (CPAA).

11.1. Describe las principales características de la radiación láser comparándola con la radiación térmica.

11.2. Asocia el láser con la naturaleza cuántica de la materia y de la luz, reconociendo su papel en la sociedad actual.

3.2. Plan de trabajo.

El plan de trabajo consiste en el método de programación y puesta en práctica de los principios presentados en el marco teórico, sección 2.1, para la consecución de los objetivos expuestos en las secciones inmediatamente anteriores de este mismo capítulo.

Las sesiones con el grupo-aula se dividirán en las tres partes comunes de toda **secuencia didáctica**: inicio, desarrollo y final o cierre:

⁵A pesar de ser estos los objetivos específicos del currículo oficial, se considera que es más interesante para el alumnado la descripción de la **computación cuántica**.

1. Inicio:

- Introducción de los objetivos: Establecer los propósitos de la sesión. Tal como se reiteraba en la asignatura *Procesos y contextos educativos* de este Máster en profesorado, “si el estudiantado no sabe lo que tiene que aprender, ¿cómo va a aprenderlo?”.
- Presentación de los criterios de evaluación: Si el estudiantado no sabe cómo le van a evaluar, ¿cómo va a saber que método de estudio usar?. Asimismo, como resulta lógico desde la perspectiva del alumnado, la forma de evaluar es un punto muy relevante en la **percepción de la tarea** que tiene el alumnado e influye, por tanto, en su **motivación**.
- Encuesta anónima para recoger la opinión del alumnado y pactar –de manera justificada y razonada– los cambios que han de realizarse para mejorar la eficacia de las clases.
- Activación de la atención: Realización de una actividad breve que incremente el interés y la motivación del alumnado: visualización de vídeos explicativos y atractivos audiovisualmente y en cuanto a contenido –por ejemplo, la siguiente colección de vídeos: **Quantumfracture: Einstein**–, realización de experimentos (en el laboratorio o en el aula, en vídeo o mediante simulaciones virtuales interactivas), juegos (escape room, etc.) y representaciones teatrales, etc.
- Visión preliminar y global del contenido posterior.
- Rescate de conocimientos previos. Por ejemplo, mediante preguntas dirigidas que cuestionen lo aprendido anteriormente.

2. Desarrollo:

- Resolución de dudas de los contenidos trabajados previamente en casa, de acuerdo a la metodología “flipped classroom” expuesta en la sección relativa al marco teórico, **2.1.2**. La resolución de dudas consistirá en explicaciones magistrales breves de acuerdo a las preguntas

planteadas o las deficiencias diagnosticadas. Asimismo, con el fin de romper el descenso de la curva de la atención –“Cada 10 o 15 minutos hay que romper el discurso en clase contando una anécdota o un chiste, porque hay episodios atencionales” [17]–, según dicta la evidencia científica, no se hablará de forma continuada durante mucho tiempo.

- Aprendizaje práctico: Realización de ejercicios de forma cooperativa. Estos ejercicios pueden ser diversa índole: orales (por ejemplo, debates) o escritos (resolución de problemas y cálculos en papel, cuestionarios conceptuales online –por ejemplo, mediante **Kahoot** o **Google Forms**–, preguntas a lo largo de la visualización de un vídeo interactivo–una opción es emplear **Edpuzzle**–. Tendrán carácter formativo o sumativo.

3. Final o cierre

- Revisión y resumen del contenido.
- Relación del contenido nuevo con las ideas previas. Al igual que la revisión y resumen del contenido, la interrelación de los nuevos conocimientos con los previos no tiene porque hacerla la docente usando el modelo transmisivo. Es decir, puede efectuarse mediante **preguntas dirigidas**, por ejemplo, hacia las conclusiones que se quieren inferir.
- Realización de una nueva encuesta anónima de opinión.

En cada apartado de la sesión y en la sesión de forma global se seguirá el **principio de gradualidad del esfuerzo** es decir, se incrementará la actividad mental demandada por las actividades a realizar.

Capítulo 4

DESARROLLO DEL TRABAJO y RESULTADOS.

En este capítulo se presenta el desarrollo del trabajo introducido en las secciones precedentes. Es decir, se mencionan los recursos y actuaciones a realizar para la consecución de los objetivos.

4.1. Contextualización curricular.

A continuación se detalla una posible Programación Didáctica Anual compuesta por el contenido legislativamente vigente –véanse las referencias [9, p. 13589] y [15, p. 277]– dividido en nueve unidades didácticas:

- 1ª Evaluación:

1. Unidad Didáctica 1. Introducción al curso: la actividad científica.
2. Unidad Didáctica 2. Campo gravitatorio.
3. Unidad Didáctica 3. Campo eléctrico.

- 2ª Evaluación:

1. Unidad Didáctica 4. Campo magnético.
2. Unidad Didáctica 5. Electromagnetismo.
3. Unidad Didáctica 6. Ondas.

■ 3ª Evaluación:

1. Unidad Didáctica 7. Óptica geométrica.
2. Unidad Didáctica 8. Introducción a la Relatividad Especial y la Física Cuántica.
3. Unidad Didáctica 9. Física nuclear. Partículas y fuerzas fundamentales.

En esta Programación Didáctica Anual, se planea un descenso progresivo de la carga de trabajo en cada evaluación, debido al desgaste y agotamiento acumulado a lo largo del desarrollo del curso y, con **carácter preventivo**, para poder “recuperar” los contenidos que por error u omisión no han sido aprendidos de forma significativa.

Dentro de esta Programación Didáctica Anual, la UD escogida, “Introducción a la Relatividad Especial y la Física Cuántica” es la número 8 del curso.

4.2. Contenidos.

Basándonos en los objetivos específicos, sección 3.1.2, el contenido de la UD elegida puede desglosarse en los siguientes puntos [9, p. 13589-13590] [15, p. 277], donde las duraciones aproximadas señaladas corresponden a la temporalización de las sesiones en el aula, siendo la preparación previa fuera de horario lectivo 1.5 veces superior a la misma:

1. Relatividad Especial.

1.1. Introducción a la Teoría Especial de la Relatividad.

- 1.1.1. Relatividad Especial como caso particular de la Relatividad General. (**Duración:** 5 min)
- 1.1.2. Motivación para la aparición de la Relatividad Especial. Limitaciones de la física prerrelativista. (**Duración:** 15 min)

1.1.3. Experimento de Michelson y Morley.

1.1.3.1. Motivación. Papel del éter. (**Duración:** 10 min)

1.1.3.2. Experimento.

1.1.3.2.1. Reproducción esquemática. (**Duración:** 10 min)

1.1.3.2.2. Cálculos sobre la velocidad de la luz. (**Duración:** 10 min)

1.1.3.3. Conclusiones e implicaciones. (**Duración:** 15 min)

1.1.4. Teoría Especial de la Relatividad.

1.1.4.1. Postulados. (**Duración:** 20 min)

1.1.4.2. Aplicación de las transformaciones de Lorentz.

1.1.4.2.1. Dilatación del tiempo. (**Duración:** 50 min)

1.1.4.2.2. Contracción. (**Duración:** 30 min)

1.1.4.3. Paradojas. Paradoja de las gemelas. (**Duración:** 30 min)

1.1.4.4. Evidencia experimental. (**Duración:** 20 min)

1.2. **Energía relativista.**

1.2.1. Equivalencia entre masa y energía. (**Duración:** 35 min)

1.2.1.1. Masa y energía en reposo. (**Duración:** 20 min)

1.2.1.2. Energía total. (**Duración:** 15 min)

1.2.2. Consecuencias. Energía nuclear. (**Duración:** 20 min)

2. **Física Cuántica.**

2.1. **Insuficiencia de la Física Clásica.** Fronteras de la Física a finales del s. XIX y principios del s. XX. Limitaciones de la Física Clásica ante:

2.1.1. Radiación del cuerpo negro. (**Duración:** 20 min)

2.1.2. Efecto fotoeléctrico. (**Duración:** 15 min, porque se explicará más adelante)

2.1.3. Espectros atómicos. (**Duración:** 15 min, porque se explicará más adelante)

2.2. Orígenes de la Física Cuántica. Problemas precursores.

2.2.1. Hipótesis de Planck. Energía de un fotón y longitud de onda.

2.2.1.1. Hipótesis de Planck en la radiación (absorción o emisión) atómica. (**Duración:** 15 min)

2.2.1.2. Hipótesis de Planck en el efecto fotoeléctrico.

2.2.1.2.1. Predicción clásica vs. explicación cuántica de Einstein. (**Duración:** 20 min)

2.2.1.2.2. Trabajo de extracción y energía cinética de los fotoelectrones. (**Duración:** 20 min)

2.2.2. Cuantización de la energía.

2.2.2.1. Aplicación a los espectros atómicos. Necesidad del modelo atómico de Bohr. (**Duración:** 20 min)

2.2.3. Dualidad onda-partícula.

2.2.3.1. Asociación de longitudes de onda y partículas en movimiento (a diferentes escalas). (**Duración:** 10 min)

2.2.3.2. Efectos cuánticos a escalas macroscópicas. Experimento de la doble rendija. (**Duración:** 25 min)

2.3. Interpretación probabilística de la Física Cuántica.

2.3.1. Determinismo (Física Clásica) vs. carácter probabilístico (Física Cuántica). (**Duración:** 10 min, introducción)

2.3.2. Principio de incertidumbre de Heisenberg. (**Duración:** 20 min)

2.3.2.1. Aplicación a casos concretos. Orbitales atómicos. (**Duración:** 30 min)

2.4. Aplicaciones de la Física Cuántica.

2.4.1. El láser.

- Características principales de la radiación láser vs. radiación térmica y asociación con la Física Cuántica. (**Duración:** 15 min)

- Principales tipos de láseres, funcionamiento y aplicaciones.
(**Duración:** 15 min)

2.4.2. La computación cuántica.

2.4.2.1. Motivación. Límites de la computación clásica: ley de Moore y límites en los tiempos de computación. (**Duración:** 30 min)

2.4.2.2. Funcionamiento. (**Duración:** 20 min)

2.4.2.3. Ejemplos. Algoritmo de Shor. (**Duración:** 30 min)

4.3. Metodología.

A continuación –véase la siguiente página– se incluye la temporalización de las sesiones, junto las descripciones metodológicas pertinentes tales como una breve descripción de las actividades, su duración, los contenidos que trabajan, el lugar (aula, museo, etc.) en el que se llevarán a cabo

Sesión	Actividad	Duración	Contenidos	Lugar/ Grupo	Evaluación			
					Tipología	Instrumento	Criterios	Estándares
S1	Repaso de contenidos	15'	Previos a esta UD	Aula/ Grupo clase	Formativa	Preguntas dirigidas	Previos a esta UD	Previos a esta UD
	Clase magistral	5'	R. Especial como caso particular de la R. General		Formativa	Registro anecdótico	3	3.1
	Cuestionario ideas previas	15'	Motivación para la aparición de la R. Especial. Limitaciones de la Física pre-R.	Aula/ Individual	Diagnóstica	Cuestionario		
	Visualización video	10'	Experimento de Michelson y Morley. Motivación. Papel del éter	Aula/ Grupo clase	Formativa	Registro anecdótico		
	Encuesta de opinión	5'	-	Aula/ Individual	Diagnóstica	Encuesta anónima online	-	-

Preparación S2	Lectura y comprensión y/o visualización de videos.	20'	Experimento Michelson y Morley	Reproducción esquemática del experimento	Fuera del aula/ Se fomentarán los grupos heterogéneos (4. pers., a elección del alumnado)	Formativa	Preguntas dirigidas de la clase siguiente	1	1.2
		10'		Cálculos sobre la velocidad de la luz					
		15'		Conclusiones e implicaciones					
		30'	Teoría Especial de la Relatividad. Postulados					3	3.1
		Total: 1h 15' (50' x 1.5)							-

Sesión	Actividad	Duración	Contenidos	Lugar/ Grupo	Evaluación			
					Tipología	Instrumento	Criterios	Estándares
S2	Revisión de la preparación S2.	10'	Experimento Michelson y Morley y Postulados de la Relatividad Especial	Aula/ Grupo clase	Sumativa	Preguntas dirigidas	1	1.2
	Realización de ejercicios de forma cooperativa y resolución de dudas	20'	Experimento Michelson y Morley: Reproducción y cálculos sobre la velocidad de la luz.	Aula/ Grupos reducidos heterogéneos (4 pers.)	Formativa	Cuaderno de clase		
	Visualización de vídeo y debate	20'	Teoría Especial de la Relatividad. Postulados.	Aula/ Debate en grupos reducidos + conclusiones en grupo clase	Formativa	Registro anecdótico	3	3.1

Preparación S3	Visualización de vídeos.	20'	Aplicación de las transformaciones de Lorentz	Dilatación del tiempo	Fuera del aula/ Se fomentarán las parejas heterogéneas (2. pers., a elección del alumnado)	Formativa	Cuaderno de clase	2	2.1
		20'		Contracción de longitudes					2.2
		15'	Paradojas de la R. Especial	Paradoja de las gemelas				3	3.1
		10'	R. Especial. Evidencia experimental						
		Total: 1h 15' (50' x 1.5)							

Sesión	Actividad	Duración	Contenidos		Lugar/ Grupo	Evaluación			
						Tipología	Instrumento	Criterios	Estándares
S3	Experimento de los espejos (en directo)	20'	Aplicación de las transformaciones de Lorentz	Dilatación del tiempo	Aula/ Grupo clase	Formativa	Registro anecdótico	2	2.1
	Resolución de dudas mientras realizan ejercicios	10'		Contracción de longitudes	Aula/ Grupos reducidos heterogéneos (2. pers.)	Sumativa	Cuaderno de clase		2.2
			Paradojas de la R. Especial	Paradoja de las gemelas				3	3.1
	Encuesta de opinión	10'	-	Aula clase/ Individual	Diagnóstica	Encuesta anónima online	-	-	-
	Debate	10'	R. Especial. Evidencia experimental		Aula/ Grupo clase	Diagnóstica	Registro anecdótico	3	3.1

Preparación S4	Lectura y comprensión	10'	Equivalencia entre masa y energía	Masa y energía en reposo	Fuera del aula/ Se fomentarán los grupos heterogéneos (3. pers., a elección del alumnado)	Formativa	Cuaderno de clase	4	4.1
	Realización de ejercicios (de Selectividad)	35'		Energía total					
	Visualización de vídeo	10'	Energía relativista. Consecuencias. Energía nuclear						
		5'	Introducción a la Física Cuántica .	<i>Motivación:</i> Insuficiencia de la Física Clásica.					
	Lectura y comprensión	15'							
	-	Total: 1h 15' (50' x 1.5)							

Sesión	Actividad	Duración	Contenidos		Lugar/ Grupo	Evaluación			
						Tipología	Instrumento	Criterios	Estándares
S4	Examen (con ejercicios de Selectividad cooperativo con apuntes)	25'	Equivalencia entre masa y energía	Masa y energía en reposo	Aula/ Individual (primeros 10'); Grupos reducidos heterogéneos (3 pers., últimos 15')	Sumativa	Revisión de las hojas de examen	4	4.1
				Energía total					
	Revisión del examen y resolución de dudas	15'	Equivalencia entre masa y energía. Masa y energía en reposo y energía total.		Aula/ Grupo clase	Diagnóstica	Preguntas dirigidas		
	Breve clase magistral	5'	Introducción a la Física Cuántica .	<i>Motivación:</i> Insuficiencia de la Física Clásica.		Aula/ Grupos reducidos (6 pers.)	Formativa	Registro anecdótico	5
Debate	5'								

Preparación S5	Lectura y comprensión de ejercicios resueltos	25'	<i>Motivación:</i> Insuficiencia de la Física Clásica.	Radiación del cuerpo negro	Fuera del aula/ Se fomentará el trabajo individual	Sumativa	Preguntas dirigidas en la S5	5	5.1
	Realización de un ejercicio								
	Lectura y comprensión y simulador digital	15'		Efecto fotoeléctrico					
	Visualización de experimento	15'		Espectros atómicos					
	-	Total: 1h 15' (50' x 1.5)							

Sesión	Actividad	Duración	Contenidos		Lugar/ Grupo	Evaluación			
						Tipología	Instrumento	Criterios	Estándares
S5	Revisión de la preparación de la S5	15'	Motivación el desarrollo de la Física Cuántica	Insuficiencia de la Física Clásica	Aula/ Grupo clase	Diagnóstica	Preguntas dirigidas	5	5.1
	Realización de ejercicios de Selectividad	25'			Aula/ Grupos reducidos heterogéneos (número de personas a elección)	Sumativa	Cuaderno de clase		
	Encuesta de opinión	10'	-		Aula/ Grupos reducidos heterogéneos (2 pers.)	Diagnóstica	Encuesta anónima online	-	-
	Resolución de dudas		Cualquiera			Formativa	Registro anecdótico	1-5	1.1-5.1

Preparación S6	Visualización de vídeo (teoría + ejercicio resuelto)	15'	Hipótesis de Planck	Energía del fotón y longitud de onda	Fuera del aula/ Se fomentarán los grupos heterogéneos (4. pers., a elección del alumnado)	Formativa	Cuaderno de clase	6	6.1
	Realización de dos ejercicios	15'		Aplicación. Radiación atómica					
	Realización de un ejercicio	10'		Aplicación. Efecto fotoeléctrico					
	Lectura y comprensión	15'	Efecto fotoeléctrico	Predicción clásica vs explicación cuántica de Einstein				7	7.1
	Ejercicios de Selectividad	20'		Trabajo cinético y energía de extracción					
	-	Total: 1h 15'							

Sesión	Actividad	Duración	Contenidos		Lugar/ Grupo	Evaluación			
						Tipología	Instrumento	Criterios	Estándares
S6	Realización de ejercicios	30'	Hipótesis de Planck	Aplicación. Radiación atómica y efecto fotoeléctrico	Aula/ Grupos reducidos heterogéneos (4 pers.)	Sumativa	Cuaderno de clase	6	6.1
	Resolución de dudas		Cualquiera			Formativa	Registro anecdótico	1-7	1.1-7.1
	Simulador	5'	Efecto fotoeléctrico	Trabajo cinético y energía de extracción	7			7.1	
	Breve clase magistral	15'	Cuantización de la energía	Aplicación. Modelo de Bohr	Aula/ Grupo clase	Preguntas dirigidas	8	8.1	
	Dualidad onda-partícula		Asociación de longitudes de onda y partículas en movimiento	9			9.1		

Preparación S7	Visualización de video	10'	Dualidad onda-partícula	Asociación de longitudes de onda y partículas en movimiento	Fuera del aula/ Se fomentará el trabajo individual, con resolución de dudas cooperativa	Formativa	Cuaderno de clase	9	9.1			
	Visualización de experimento	10'		Efectos cuánticos a escalas macroscópicas. <i>Experimento de la doble rendija</i>								
	Repaso de ejercicios para el examen	45'	Desde el inicio de la UD hasta la Dualidad onda-partícula							Examen de la próxima sesión	1-9	1.1-9.1
	Visualización de video	10'	Interpretación probabilística de la Física Cuántica	Gato de Schrödinger								
	-	Total: 1h 15'								-		

Sesión	Actividad	Duración	Contenidos		Lugar/ Grupo	Evaluación			
						Tipología	Instrumento	Criterios	Estándares
S7	Examen	30'	Desde el inicio de la UD hasta la Dualidad onda-partícula		Aula/ Individual	Sumativa	Corrección del examen	1-9	1.1-9.1
	Encuesta de opinión	5'	-	-		Diagnóstica	Encuesta anónima online	-	-
	Recopilación de dudas del examen	10'	Desde el inicio de la UD hasta la Dualidad onda-partícula		Aula/ Grupo clase		Registro anecdótico	1-9	1.1-9.1
	Breve clase magistral	5'	Determinismo (F. clásica) vs carácter probabilístico (F. cuántica)	Principio de incertidumbre de Heisenberg		Formativa	Preguntas dirigidas	10	10.1

Preparación S8	Revisión de dudas del examen de la S7	20'	Desde el inicio de la UD hasta la Dualidad onda-partícula		Fuera del aula/ Se fomentarán los grupos heterogéneos (2. pers., a elección del alumnado)	Formativa	Preguntas dirigidas en la S8	10	10.1
	Escape room. Gato de Schrödinger en "¡Allá tú!"	20'	Interpretación probabilística de la Física Cuántica	Gato de Schrödinger			Cuaderno de clase		
	Realización de un ejercicio de Selectividad	10'	Principio de incertidumbre de Heisenberg	Aplicación a casos concretos. Orbitales atómicos.				11	11.1-11.2
	Lectura y comprensión y juego de computación cuántica	15'	Aplicaciones de la Física Cuántica	Computación cuántica					
	Visualización de un vídeo.	10'		El láser. Características y relación con la F. Cuántica					
	-	Total: 1h 15'					-		

Sesión	Actividad	Duración	Contenidos		Lugar/ Grupo	Evaluación			
						Tipología	Instrumento	Criterios	Estándares
S8	Corrección del examen con "concurso" para la resolución dudas	25'	Desde el inicio de la UD hasta la Dualidad onda-partícula		Aula/ Grupos reducidos generados al azar (4 pers.)	Sumativa	Cuaderno de clase	1-9	1.1-9.1
	Experimento en clase	10'	Aplicaciones de la Física Cuántica.	<i>Experimento de la doble rendija</i> con un láser.		Formativa	Registro anecdótico	11	11.1-11.2
	Debate	15'		Computación cuántica	Aula/ Grupo clase		Preguntas dirigidas		

Preparación S9	Revisión de la UD y anotación de dudas	25'	Todos los de la UD		Fuera del aula/ Se fomentará el trabajo individual, con resolución de dudas cooperativa	Formativa	Preguntas dirigidas en la S9	Todos los de la UD: 1-11	Todos los de la UD: 1.1-11.2
	Visualización de video resumen	15'	Resumen de las ideas y conceptos clave	Todos los de la UD					
	Encuesta de opinión	5'	-			Diagnóstica	Encuesta anónima online	-	
	Repaso: realización de ejercicios de Selectividad	30'	Todos los de la UD			Sumativa	Cuaderno de clase	Todos los de la UD: 1-11	Todos los de la UD: 1.1-11.2
	-	Total: 1h 15' (50' x 1.5)				-			

Sesión	Actividad	Duración	Contenidos	Lugar/ Grupo	Evaluación			
					Tipología	Instrumento	Criterios	Estándares
S9	Resolución de dudas	20'	Todos los de la UD	Aula/ Grupos reducidos heterogéneos (5 pers.)	Formativa	Preguntas dirigidas	Todos los de la UD: 1-11	Todos los de la UD: 1.1-11.2
	Examen con apuntes	30'		Aula/ Grupo clase	Sumativa	Corrección del examen		
Preparación S10	Rehacer el examen de clase	30'		Fuera del aula/ Se fomentarán los grupos heterogéneos (3. pers., a elección del alumnado)	Formativa	Cuaderno de clase		
	Realización de ejercicios de Selectividad	45'						

S10	Resolución de dudas	20'	Todos los de la UD	Aula/Grupos reducidos a elección del alumnado	Formativa	Registro anecdótico	Todos los de la UD: 1-11	Todos los de la UD: 1.1-11.2
	Simulacro examen de Selectividad	30'		Aula/ Individual	Sumativa	Corrección del examen		
S11	Corrección de los exámenes y resolución de dudas	25'		Aula/ Grupo clase	Formativa	Preguntas dirigidas		
	Encuesta de opinión y debate sobre la metodología docente	25'	-	Aula/ Grupos reducidos a elección del alumnado	Diagnóstica	Encuesta anónima online y registro de las críticas y sugerencias	-	

4.4. Evaluación

4.4.1. *Criterios de calificación*

En cuanto a los criterios de calificación, el porcentaje en la calificación de cada **instrumento de evaluación** se distribuye en las siguientes categorías:

- **50 %** Pruebas escritas.
- **35 %** Cuaderno de clase, muestra del trabajo continuado a lo largo de la UD.
- **15 %** Actitud y comportamiento (participación, respeto, etc.), cuyo instrumento de evaluación es el registro anecdótico, en el cual se incluyen, entre otras tanto las observaciones en toda actividad como los resultados de las preguntas dirigidas en las actividades de carácter sumativo.

4.4.2. *Pruebas de evaluación*

Como, desde el marco teórico del “aula invertida”, desarrollado en la sección **2.1.2**, se busca más la comprensión que la memorización, las pruebas de evaluación deberán ser con apuntes y/u otros materiales (incluso ordenadores con conexión a internet). Tal como fue mencionado en la sección **2.1.2**, se cree que este método es el más **profesionalizante** y adaptado al mercado laboral.

Pruebas escritas con las características presentadas en el párrafo anterior son más frecuentes en los estudios de grado y posgrado, tal como se afirma por experiencia, por ejemplo, para el Máster Quantum Science and Technology perteneciente a la Universidad del País Vasco (UPV-EHU).

Como desventaja de esta forma de evaluar, la configuración de dichas pruebas requiere un **mayor esfuerzo** por parte del profesorado en comparación a los exámenes ordinarios. Esto es así puesto que han de plantearse problemas que **combinen los contenidos de tal modo que no puedan copiarse los problemas planteados** mediante el uso del material disponible durante la realización del examen.

Asimismo, debido a que el curso elegido es 2º de Bachillerato, a pesar de las razones expuestas anteriormente, se realizarán dos exámenes: uno examen con apuntes y otro sin poder emplear los mismos –véanse la penúltima y antepenúltima sesión en la sección 4.3, “Metodología”, donde se programan todas las actividades a realizar–, puesto que el examen de **Selectividad**¹ se realiza en esta última modalidad, como forma de entrenarse para dicha prueba.

¹También denominado Evaluación de Bachillerato para el Acceso a la Universidad (EBAU), y, en algunos territorios del estado español, Pruebas de Acceso a la Universidad (PAU).

Capítulo 5

DISCUSIÓN.

Este capítulo incluye un debate acerca del plan de viabilidad de la actuación propuesta y los beneficios que se pudieran alcanzar.

5.1. Viabilidad.

Con el fin de discutir la factibilidad del trabajo planteado, se comenzará con el análisis de los **peores escenarios**.

El peor escenario posible sería que el alumnado se opusiera frontalmente a la metodología planteada, sobre todo, en lo relativo al principio metodológico más patente en la programación de las sesiones, el “aula invertida”.

Para evitar este posible escenario, con **carácter diagnóstico**, se realiza, tal como viene explicitado en la sección 4.3 una **encuesta de opinión** anónima al final de la última sesión, al igual que se reiterara con la frecuencia considerada efectiva en las sesiones sucesivas.

Este seguimiento previene la oposición del alumnado en cuanto a la condición sine qua non de preparación previa de las sesiones y, va más allá, dentro de los parámetros establecidos legalmente y, sin que ello suponga cuestionar el papel del profesorado, dota al alumnado de una herramienta para que se responsabilice de su propia formación.

En resumidas cuentas, se prevé ínfima la posibilidad de que el alumnado se oponga totalmente a la metodología planteada, siempre y cuando, tal como se expuso en el marco teórico, sección 2.1.2, la docente haga un balance adecuado

de la carga de trabajo que el alumnado es capaz de asumir.

Asimismo, ha de tenerse en cuenta de las características y necesidades del grupo aula en que se aplica esta metodología. La metodología de la presente UD podría ser inadecuada para el primer ciclo –1º y 2º curso– de Educación Secundaria Obligatoria, debido a que carecen de la autonomía suficiente para preparar las sesiones previamente de manera recurrente de forma profunda.

En este caso, sin embargo, se trata de 2º de Bachillerato, alumnado que se encuentra casi en la mayoría de edad. Por lo tanto, teniendo en cuenta sus circunstancias, la condición de preparar de forma previa las clases no supone un equilibrio tan inestable, no es tan arriesgado.

La metodología planteada, no obstante, no supone, de forma inherente, mayor **carga de trabajo**. Es decir, no requiere más esfuerzo si se efectúa de forma adecuada. Para argumentar esto, separemos analíticamente la carga de trabajo para el alumnado y el profesorado.

En lo referente al alumnado, el **“aula invertida” no supone más carga de trabajo para el alumnado en comparación con el modelo transmisivo**. Lo único que cambia es que dicho esfuerzo está más **espaciado** en el tiempo y **se explicita más** en la programación.

Es decir, por una parte, se obliga al alumnado a estudiar de manera continuada, siguiendo con otro principio metodológico planteado en la sección 2.1, la **práctica espaciada**. Así, es más probable que al alumnado no postergue sus estudios para los días previos a la prueba escrita (práctica en bloque).

Para evitar esto último, además, se realizan numerosas **pruebas escritas de evaluación** y se explicita que son “exámenes” –véase la sección 4.3–. Esto sirve, además de para que el alumnado se esfuerce más (en las vísperas de los exámenes) de forma reiterada (porque hay más vísperas), para que **pierda la connotación negativa hacia la realización de exámenes**, y lo vea como una prueba de evaluación eficaz.

Asimismo, realizar exámenes de forma reiterada fomenta la **evocación** –la ac-

ción de recordar o traer a la memoria–, práctica expuesta también en los principios metodológicos del presente trabajo y, tal como se dijo, **eficaz para la retención duradera de conocimientos**, al igual que la práctica espaciada, práctica que, tal como se dice en los párrafos inmediatamente anteriores, también es promovida por la metodología, sección 4.3 adoptada.

Por si fuera poco la repetición de esta práctica evocativa, dicha **evocación** se ha desarrollado de forma **gradual**. Concretamente, después de realizar de forma cooperativa exámenes con apuntes, para finalizar la UD se realiza un examen individual –véanse las últimas sesiones de la sección 4.3– con apuntes y otro sin apuntes.

Este examen final sin apuntes, además de constituir el mayor nivel evocativo de la UD, tal como se mencionó anteriormente, sirve de entrenamiento para las pruebas de acceso a la universidad que el alumnado habrá de realizar al finalizar el curso –precisamente, a inicios de Junio, en la primera convocatoria de dicha prueba–.

Por ello, además de realizar el simulacro de Selectividad mencionado, se realizan de forma recurrente ejercicios aparecidos anteriormente en exámenes de esta naturaleza.

Finalmente, podría pensarse que la metodología empleada no es realista en cuanto a la carga de trabajo que supone para la docente. Esto puede pensarse tanto por lo relativo a la programación y como por lo referente a la confección de material para que el alumnado prepare previamente las clases.

Con respecto al primer punto, el nivel programático que exige el “aula invertida” no es superior al necesario para realizar una planificación adecuada empleando el modelo transmisivo. Tal como se vio en la asignatura *Procesos y contextos educativos*, la labor docente no puede estar sujeta a la improvisación. La programación efectuada para esta metodología –véase la sección 4.3– tiene una profundidad adecuada también para el modelo empleado comúnmente en el aula.

Por último, con respecto a la carga de trabajo que supone para la docente,

los recursos empleados para que el alumnado trabaje fuera de clase **no deben porqué ser de elaboración propia.**

Por lo tanto, la metodología presentada no exige mayor carga de trabajo de la que supondría para una docente que realiza su trabajo de forma adecuada y, en este punto concreto, revisa y prueba de previo a su utilización los recursos (apuntes, ejercicios, vídeos, juegos, etc.) didácticos sugeridos.

Por otra parte, el **número de sesiones** (11¹) empleado para la presente UD es **adecuado**, por encontrarse en el rango 4-12 y, precisamente, al final del mismo debido a la longitud y complejidad del contenido abarcado. [28]

Precisamente, con respecto a la longitud y complejidad, esta UD podría separarse en dos, con los nombres de los dos bloques en que se ha desarrollado: “Introducción a la Relatividad Especial” y “Introducción a la Física Cuántica”.

Para ello, podría argumentarse que lo único que une a la Relatividad Especial y la Física Cuántica es que ambas se desarrollaron en el siglo XX y en la actualidad están en proceso de unificación.

No obstante, se ha decidido incluir ambos bloques en una misma UD con el fin de instaurar paralelismos entre ambas teorías en cuanto a las limitaciones de los marcos conceptuales anteriores. Asimismo, la Relatividad Especial y la Física Cuántica presentaron el siglo XX aparentes contradicciones entre sí –véase, por ejemplo, el famosísimo artículo de Einstein, Podolsky y Rosen, referido como EPR, en el cual se plantea si “puede considerarse completa la descripción mecánico-cuántica de la realidad física” [5]– que posteriormente fueron resueltas sin contradecir ninguno de los dos marcos conceptuales. Estos mismos conflictos pueden surgir a las alumnas.

Por tanto, se cree que es enriquecedor presentar conjuntamente la introducción a la Relatividad Especial y la introducción a la Física Cuántica.

Para terminar con la viabilidad de este trabajo, la dificultad, profundidad y com-

¹Es decir, el mismo número de sesiones que de criterios de evaluación, aunque no se ha dado una sesión entera a cada criterio de evaluación si se considera que no resultan interesantes ni para la formación y curiosidad del alumnado ni para la preparación de la prueba de acceso a la universidad.

plejidad del contenido es la **determinada por vía legislativa, nivel adecuado** para alumnado de 17-18 años.

Asimismo, todo el contenido es el legislativamente vigente y se da en su totalidad. La única excepción es la adición de cierto contenido relativo a la computación cuántica, porque se prevé que pueda resultar muchísimo más interesante para el alumnado que el láser. No obstante, no se el dedica mucho tiempo a este contenido añadido y, de ser necesario por limitaciones temporales, podría suprimirse.

5.2. Beneficios.

La UD desarrollada en este documento puede producir **rentabilidad** en los siguientes aspectos:

5.2.1. *Autonomía del alumnado*

El alumnado, dentro de la competencia aprender a aprender (CPAA), debe desarrollar un aprendizaje cada vez más eficaz y autónomo [16, p. 6997]. Esta metodología –véase la sección 4.3– puede aportar en este aspecto:

- Aporta recursos de estudio nuevos para el alumnado, como pueden ser la visualización de material audiovisual (videotutoriales, realización de ejercicios en vídeo) y aprender de ejercicios resueltos aparecidos en exámenes de Selectividad.
- En clase se entrenará el uso de las TIC como herramienta eficaz para la **resolución de dudas**. Esta herramienta puede emplearse, como es obvio, con total autonomía, más teniendo en cuenta la edad del alumnado.
- Se compartirá la temporalización de las sesiones (dentro y fuera del aula) presente en la sección 4.3, con el fin de definir la **planificación** –en el

estudio en este caso, pero generalizable a otras áreas– como **habilidad cognitiva fundamental**.

- La planificación de las sesiones de estudio ayuda a la **autorregulación y control** –inherentes a la competencia de aprender a aprender según la referencia [16, p. 6997]– tanto del alumnado como del profesorado.
- El cronograma presente en la sección 4.3 –el cual, como hemos dicho, se compartirá en su totalidad con el alumnado– es un ejemplo de **plan de acción** para alcanzar los objetivos expuestos en la sección 3.1.2.
- Las **encuestas de opinión** van otorgando al alumnado el papel de director y supervisor de su propio aprendizaje.

5.2.2. Retención a largo plazo mediante la práctica espaciada y la evocación.

La metodología expuesta obliga de facto –al tratarse de la preparación previa de las sesiones de aula una condición sine qua non de esta metodología– tanto al alumnado como al profesorado a **trabajar de forma espaciada** –i.e., distribuida en el tiempo–.

De este modo, mediante esta condición sine qua non y la explicitación de la preparación de las clases por parte de ambas partes –siendo muchas veces la preparación de la docencia un error del profesorado–, se compele a ambas figuras a **no postergar** y supervisar cada día si la carga de trabajo es adecuada –en vez de supervisar esto el día previo al examen–.

Podría pensarse que el modelo transmisivo también obliga a llevar el contenido al día, con el fin de no perderse. Sin embargo, esta actitud no es tan habitual en alumnado de Bachillerato como podría pensarse. El “aula invertida” explicita las razones por las que estudiar un poco cada día y, sobre todo, ayuda, como ha sido mencionado, a la **regulación y supervisión de la actividad estudiantil y docente**.

Asimismo, la realización de múltiples pruebas escritas de evaluación obliga al alumnado a **evocar** el contenido trabajado de forma reiterada. Esto, junto a la práctica espaciada expuesta en los párrafos anteriores, ayuda, según se sabe por la evidencia científica [3], a la **retención a largo plazo del conocimiento**.

5.2.3. *Aprendizaje significativo*

El fomento del empleo autónomo de las TIC, así como el numeroso tiempo invertido en la resolución de dudas tanto cooperativa como tutorial y el uso de material audiovisual (visualización de vídeos, simulaciones digitales, etc.) que permite percibir los conocimientos por todos los sentidos posibles ayudan a un **aprendizaje más profundo al acostumbrado en el modelo tradicional**.

Capítulo 6

CONCLUSIONES.

A continuación se expondrán lo logros alcanzados, haciendo una valoración tanto cuantitativa como cualitativa de los objetivos del trabajo obtenidos.

El presente trabajo refleja un manejo adecuado de las competencias –conocimientos y capacidades– adquiridos en las materias correspondientes al Máster en profesora en que se encuadra este TFM.

Es decir, el currículo legislativamente vigente **ha sido transformado en actividades concretas programadas de forma precisa y realista, eficaces para el aprendizaje significativo y duradero** de los contenidos relativos a, en este caso concreto, la Relatividad Especial y la Física Cuántica en su forma introductoria al nivel correspondiente a alumnado de 2º de Bachillerato.

Con este fin, se han llevado, dentro del marco conceptual del “aula invertida” a la práctica metodologías docentes probadas científicamente eficaces: la práctica espaciada –mediante la planificación de la preparación previa de las clases y la explicitación de pruebas de evaluación escritas recurrentes, sección 4.3–, la gamificación –empleo de escape rooms y “concursos” para fomentar la comprensión contenido– y la evocación –aplicada de forma gradual, por medio de exámenes reiterados en que se restringían, de forma paulatina, el número de participantes y los recursos o apuntes al alcance–.

Como consecuencia de esta metodología empleada, el **aprendizaje profundo y duradero** en la materia señalada, objetivo principal de este trabajo, resulta **altamente probable**.

De igual forma, la metodología empleada incluye numerosas **pruebas diagnósticas** para supervisar de forma continuada la efectividad de la misma.

Mediante la configuración de grupos reducidos en el aula y el fomento de los mismos fuera de horario lectivo, se fomenta el **trabajo cooperativo** y, en la clase, se fomenta la participación del alumnado. En los grupos reducidos el alumno podrá participar más y con mayor libertad con respecto a si se efectuara la clase únicamente en el grupo-aula.

Además, la formación de grupos heterogéneos ayuda al apoyo por parte del mismo alumnado a compañeras que necesitan más apoyo en el proceso de aprendizaje y una **adaptación curricular**.

El aprendizaje de la teoría, como ha sido mencionado anteriormente, no se da únicamente por la vía de lenguaje escrito, se emplean medios audiovisuales y multimedia que, al menos para la enseñanza de la física, gracias a un **mayor peso de las imágenes**, pueden ser más eficaces para aprender conceptos clave, siendo asimismo más acordes con un alumnado acostumbrado al uso de las TIC.

Concretamente, respecto a las **TIC**, se fomenta su uso para la introducción de **nuevas formas de aprender** (visualización de vídeos, simulación digital, etc.), el acceso casi inmediato a la información y como **herramienta muy valiosa para la resolución de dudas** –introduciendo, por ejemplo, los foros de internet como [Physics Stack Exchange](#), donde las mejores respuestas más a las dudas planteadas se votan y ascienden a los primeros puestos–. Aunque se requiere tiempo para la aplicación de teoría, se fomenta el **aprendizaje práctico** mediante el uso de gran parte del alumnado para la realización de ejercicios, parte de gran peso en pruebas como la Selectividad.

La **transición entre la comprensión de teoría y la realización de ejercicios** se da, de forma manifiesta, por medio del **análisis de ejercicios resueltos**. A esta transición, de forma, según creemos, equívoca, no se le suele darse tanta relevancia como se ha hecho en esta UD.

Asimismo, se transmite al alumnado la **transcendencia** de la Relatividad Especial y la Física Cuántica en la **investigación científica** actual, sobre todo en el bloque último, donde es más latente la aplicabilidad correspondiente. Concre-

tamente, los ejemplos proporcionados al alumnado versan sobre el láser y la computación cuántica.

La aplicación de la Relatividad Especial, la tecnología GPS, por su parte, requiere de la integración en la teoría completa –Relatividad general– y ni este marco teórico más global ni la aplicación de la Relatividad Especial se explicitan en el currículo determinado por el estado, por lo que no se ha incluido en la presente UD de forma patente.

Bibliografía

- [1] Arute, F., Arya, K., Babbush, R., et al. (2019). Quantum supremacy using a programmable superconducting processor. *Nature* 574, 505–510. doi: [10.1038/s41586-019-1666-5](https://doi.org/10.1038/s41586-019-1666-5)
- [2] Bauer (2021). General physics. http://bauer_general_physics/twin_paradox.pdf
- [3] Bjork, E. L., & Bjork, R. A. (2011). Making things hard on yourself, but in a good way: Creating desirable difficulties to enhance learning. En M. A. Gernsbacher, R. W. Pew, L. M. Hough, J. R. Pomerantz (Eds.) & FABBS Foundation, *Psychology and the real world: Essays illustrating fundamental contributions to society*, pp. 56–64. Worth Publishers. <https://psycnet.apa.org/record/2011-19926-008>
- [4] Carroll, S. (2004). *Spacetime and geometry. An introduction to general relativity*. Addison Wesley. ISBN 0-8053-8732-3.
- [5] Einstein, A., Podolsky, B., & Rosen, N. (1935, mayo). Can Quantum-Mechanical Description of Physical Reality Be Considered Complete?. *American Phys. Soc.*, Vol. 47 (10), pp. 777-780. doi: [10.1103/PhysRev.47.777](https://doi.org/10.1103/PhysRev.47.777)
- [6] Ferrero, M. (2020, 19 de noviembre). Educación basada en evidencia [archivo de vídeo]. *Ciencia la Rioja*. <https://www.youtube.com/watch?v=QxmsNI9EiwA>
- [7] Gamble, S. (2019, 28 de enero). Quantum Computing: What It Is, Why We Want It, and How We're Trying to Get It. National Academy of Engineering. *Frontiers of Engineering: Reports on Leading-Edge Engineering from the 2018 Symposium*. <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK538701/>
- [8] García Fernández, D. A. (2015). *Física relativista, ejercicios resueltos que han sido propuestos en los exámenes de las pruebas de acceso a estudios universitarios en la Comunidad de Madrid (1996-2015)*. <https://iescomplutense.es/2017/10/Fisica-relativista-acceso-universidad.pdf>

- [9] Gobierno de la Rioja, Consejería de Educación, Cultura y Turismo (2015, 26 de junio). Decreto 21/2015, de 26 de junio, por el que se establece el currículo de Bachillerato y se regulan determinados aspectos sobre su organización, evaluación, promoción y titulación del alumnado de la Comunidad Autónoma de la Rioja. BOR (Boletín Oficial de la Rioja), Núm. 85, p. 13481-13808. https://ias1.larioja.org/bor_boletin_21_2015
- [10] Guido, B., & Zalta, E. N. (2020). The Role of Decoherence in Quantum Mechanics. The Stanford Encyclopedia of Philosophy. <https://plato.stanford.edu/entries/qm-decoherence/>
- [11] Janssen, B. (2020) Teoría de la Relatividad General. Universidad de Granada.
- [12] Kapoor, A. (2021). How to use anonymous surveys to get student feedback. Classroom Resources. Graduate school of education. Stanford University.
- [13] Kumar, S. (2015, 17 de noviembre). Fundamental Limits to Moore's Law. Stanford University. <https://arxiv.org/pdf/1511.05956.pdf>
- [14] Mendoza, B. I. U. (2017). History of science, what is it and whatever for? Revista Odontológica Mexicana, 21(2), e78–e79. doi:[10.1016/j.rodMex.2017.05.010](https://doi.org/10.1016/j.rodMex.2017.05.010)
- [15] Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2015, 3 de enero). Real Decreto 1105/2014, de 26 de diciembre, por el que se establece el currículo básico de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato. Boletín Oficial del Estado (BOE), Núm. 3, Sec. I, p. 169-546. <https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/03/pdfs/BOE-A-2015-37.pdf>
- [16] Ministerio de Educación, Cultura y Deporte (2015, 29 de enero). Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre las competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria obligatoria y el bache-

- rato. Boletín Oficial del Estado (BOE), Núm. 25, Sec. I, p. 6986-7003.
<https://www.boe.es/boe/dias/2015/01/29/pdfs/BOE-A-2015-738.pdf>
- [17] Mora, F. (2018, 9 de julio). “Somos lo que la educación hace de nosotros”. Francisco Mora, doctor en Neurociencia [archivo de vídeo]. AprendemosJuntos.
<https://www.youtube.com/watch?v=ETagN9TDZJI>
- [18] Moreno Romero, F. (2018, 31 de julio). Teoría de la relatividad especial o restringida [apuntes y problemas resueltos].
<http://www.escriitoscientificos.es/apunfisi/uni12-a.htm>
- [19] Oriti, D. (2018, 11 de mayo). The Bronstein hypercube of Quantum Gravity. <https://arxiv.org/pdf/1803.02577.pdf>; imagen de Hossenfelder, S., <http://backreaction.blogspot.com/2011/05/cube-of-physical-theories.html> [imagen no disponible].
- [20] Rohrer, D., & Taylor, K. (2007). The shuffling of mathematics problems improves learning. *Instructional Science*, 35(6), 481–498. doi:[10.1007/s11251-007-9015-8](https://doi.org/10.1007/s11251-007-9015-8)
- [21] Rovelli, C. (2004). *Quantum Gravity*. Cambridge University Press. DOI: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511755804>
- [22] Saenz de Cabezón, E. (2018, 11 de junio). “Las matemáticas nos hacen más libres y menos manipulables”. Eduardo Sáenz de Cabezón [archivo de vídeo]. AprendemosJuntos. <https://www.youtube.com/watch?v=BbA5dpS4Ccl>
- [23] Colegio San Alberto Magno (2018). Física relativista, selectividad.
<https://colegiosam.com/2018/09/FISICA-RELATIVISTA.pdf>
- [24] Scott, H. K., Jain, A., & Cogburn, M. (2021). *Behavior Modification*. StatPearls Publishing. PMID: [29083709](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/29083709/).

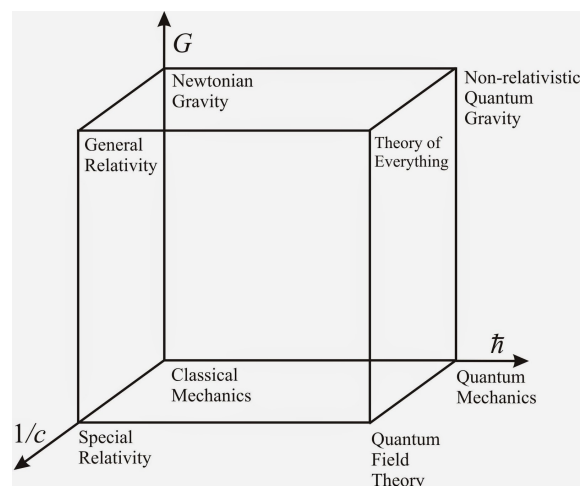
- [25] Shor, P. W. (1997) Polynomial-time algorithms for prime factorization and discrete logarithms on a quantum computer. SIAM journal on computing, 26.5, 1484-1509. <http://mmrc.amss.cas.cn.pdf>
- [26] Skinner, B. F. (1938). The behavior of organisms. An experimental analysis.
- [27] Thanasilp, S., Tangpanitanon, J., Lemonde, M.-A., et al. (2021, 22 de abril). Quantum supremacy and quantum phase transitions. Phys. Rev. B 103, 165132. doi: [10.1103/PhysRevB.103.165132](https://doi.org/10.1103/PhysRevB.103.165132)
- [28] Viciana Ramírez, J., & Cocca Armando, A. (2011, noviembre). Innovando en la planificación de la Educación Física. Unidades didácticas especiales. Re-conceptualización de la unidad didáctica desde la práctica profesional. EF-Deportes.com, Revista Digital, N° 162. <https://www.efdeportes.com/efd162/la-planificacion-de-la-educacion-fisica.htm>
- [29] Xie, C., Wang, M., & Hu, H. (2018). Effects of Constructivist and Transmission Instructional Models on Mathematics Achievement in Mainland China: A Meta-Analysis. Frontiers in Psychology, 9. doi: [10.3389/fpsyg.2018.01923](https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.01923)
- [30] Wikipedia (2021). More's Law. Wikipedia, the free encyclopedia https://en.wikipedia.org/wiki/Moore_law
- [31] Wikipedia (2021). Time dilation. Wikipedia, the free encyclopedia https://en.wikipedia.org/wiki/Time_dilation

Apéndice A

Relatividad Especial. Anexos.

A.1. Introducción. Relatividad Especial como caso particular de la Relatividad General.

Con el fin de situar para el alumnado la Teoría de la Relatividad Especial como caso particular en de la Relatividad General en el que el espacio-tiempo es plano en vez de curvado, se usará la siguiente figura, denominada hipercubo de Bronstein: [19, p. 2, fig. 1]



A continuación, para una mayor idea global de la ubicación de la Relatividad Especial entre todas las disciplinas físicas, se propone la siguiente actividad: (véase la siguiente sección)

A.2. Introducción. Relatividad Especial. Vídeo interactivo mediante Edpuzzle.

Véase el siguiente vídeo, de elaboración propia, empleando la plataforma Edpuzzle, la cual permite hacer los vídeos interactivos, sumándoles preguntas que activan el procesamiento más profundo de la información por parte del alumnado: <https://edpuzzle.com/media/60299e7fd37861425e795954>.

The screenshot shows a video player interface. On the left, a diagram titled 'Special Relativity Part 1: From Galileo to Einstein' plots 'Speed' (horizontal axis) and 'Size' (vertical axis). The horizontal axis has 'Far less than 3×10^8 m/s' and 'Comparable to 3×10^8 m/s'. The vertical axis has 'Far larger than 10^{-9} m' and 'Near or less than 10^{-9} m'. A 2x2 grid of boxes is shown: 'Classical Mechanics' (top-left, blue), 'Relativistic Mechanics' (top-right, yellow), 'Quantum Mechanics' (bottom-left, red), and 'Quantum Field Theory' (bottom-right, orange). Below the diagram, text reads: 'quantum mechanics works for very tiny quantum particles' and 'what about objects moving near the speed of light'. A man is visible in the video frame. On the right, a 'MULTIPLE CHOICE QUESTION' is displayed: 'La Relatividad especial es una teoría para' with four options: 'Escala microscópica y velocidades muy grandes.', 'Escala macroscópica y velocidades muy grandes.', 'Escala microscópica y velocidades muy pequeñas.', and 'Escala macroscópica y velocidades muy grandes.'. The 'Submit' button is highlighted.

Figura A.1: Captura de pantalla del vídeo interactivo producido mediante la plataforma Edpuzzle, para la introducción a la Relatividad Especial.

A.3. Introducción. El Principio de la Relatividad mediante la enseñanza de la Historia de la Ciencia.

Por lo argumentado en la sección 2.1.2, la enseñanza de la Historia de la Ciencia puede resultar muy eficaz para la comprensión del desarrollo de marcos conceptuales. Mediante el siguiente ejemplo, concretamente, se presenta el “Principio de la Relatividad” por medio de esta metodología: [11, p. 42]

Aunque parezca sorprendente, el Principio de Relatividad es anterior a la Teoría de la Relatividad Especial, incluso anterior a la mecánica clásica de Newton. Fue formulado por Galileo alrededor del año 1600, cuando se dio cuenta de que si

un observador se mueve con la misma velocidad que una masa en movimiento uniforme y rectilíneo, para este observador la masa estará en reposo.

La conclusión que sacó Galilei es que un observador no es capaz de determinar si él está en un sistema que se encuentra en reposo o en movimiento uniforme y rectilíneo. Dicho de otra manera, una persona encerrada en una caja, con todos los experimentos mecánicos imaginables a su disposición, no tiene manera de determinar su estado de movimiento, sin mirar por una ventanilla. Esto se llama “Principio de Relatividad”.

Principio de relatividad (formulación de Galilei): Es imposible determinar, a base de experimentos (mecánicos) si un sistema de referencia está en reposo o en movimiento uniforme y rectilíneo.

Aplicado a la vida cotidiana: Mirando por la ventan de un tren en la estación, no sabemos si empieza a moverse nuestro tren o el de al lado, o, en un atasco, pensamos que estamos rodando hacia atrás, si el coche de delante sale.

A finales del siglo XIX, Poincaré y Einstein se dieron cuenta de que el Principio de Relatividad no sólo se aplica al movimiento, sino a la física entera:

Principio de relatividad (formulación de Einstein): las leyes de la física deben tener la misma forma en todos los sistemas no acelerados (o “inerciales”).

Esta extensión es importante, puesto que puso en **conflicto la mecánica newtoniana y el electromagnetismo de Maxwell**.

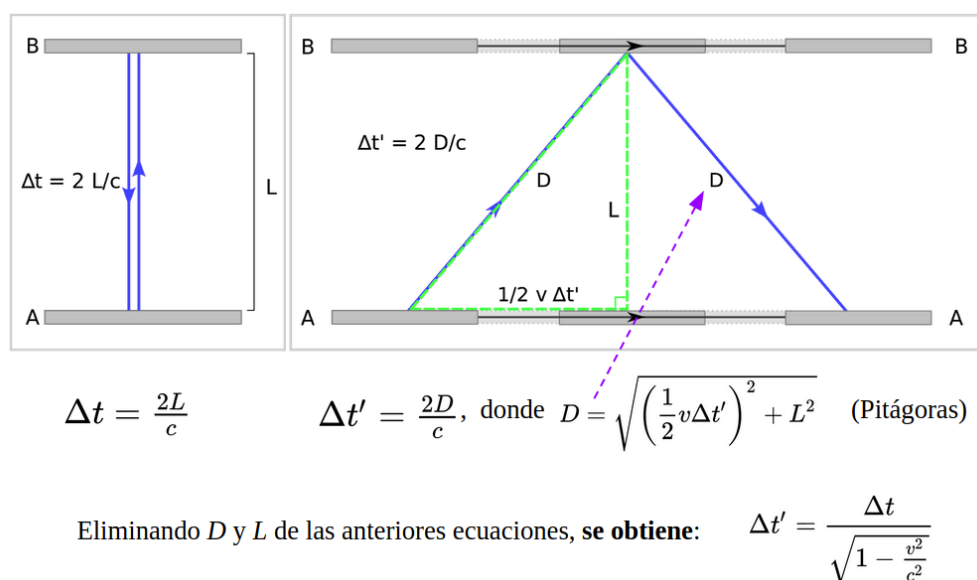
En su artículo sobre la relatividad especial, Einstein observó que hasta entonces se interpretaba la interacción entre una carga eléctrica y un campo magnético (inducción electromagnética) de distinta manera dependiendo de si se movía la carga o el imán. Esto contradecía el Principio de la Relatividad: siendo los dos sistemas no acelerados, debían verse las mismas leyes físicas en los dos.

Einstein introdujo unos primeros principios y derivó toda una nueva mecánica y unos nuevos conceptos de espacio y tiempo. Al final, sugirió dos maneras de verificar su nueva teoría de forma experimental: el efecto Doppler y la aberración relativista.

A.4. Experimento en directo para deducir la fórmula de la dilatación temporal.

Este experimento es muy sencillo de realizar en directo, sólo se necesitan dos teléfonos móviles para grabar desde dos sistemas de referencia diferentes y una silla con ruedas, tal como se hace en el siguiente episodio del famoso programa de divulgación científica Órbita Laika: <https://www.rtve.es/alacarta/videos/orbita-laika/orbita-laika-09-demostracion/3313193/>.

Asimismo, deducir la fórmula de la dilatación temporal, ecuación A.1 de la siguiente sección, es **¡sorprendentemente sencillo para las implicaciones físicas que se derivan de la fórmula!**. En la siguiente figura se muestra un esquema: [31]



A.5. Dilatación temporal. Concurso mediante Kahoot

Asimismo, una herramienta para afianzar los conceptos derivados del concepto de la dilatación temporal derivado mediante el experimento de la sección anterior

es un concurso en clase mediante la plataforma Kahoot.

A continuación se muestra un quiz de elaboración propia: <https://kahoot.it/dilatacion-temporal>.

Dilatación temporal

1. ¿Cuál es la razón por la que la dilatación temporal no se observa notablemente en la vida cotidiana porque ...

2. ¿Cuál es la razón por la que los relojes que avanzan en un sistema que se mueve hacen tic-tac ...

3. ¿Cuál es una de las aplicaciones de la dilatación temporal es:

4. ¿Cuál es la fórmula que indica la dilatación temporal es $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ y es

5. ¿Cuál es la fórmula que indica la dilatación temporal es $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ y es

6. ¿Cuál es la fórmula que indica la dilatación temporal es $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}}$ y es

7. ¿Cuál es la fórmula de la dilatación temporal. $\Delta t' = \gamma \Delta t$, indica que el intervalo de tiempo medido por un reloj que se mueve

8. ¿Cuál es la fórmula de la dilatación temporal. $\Delta t' = \gamma \Delta t$.

9. ¿Cuál es el resultado de un reloj que se mueve hacia menos tic-tac indica que para ese reloj un intervalo de tiempo

10. ¿Cuál es la paradoja de las gemelas indica que la que permanece en la Tierra

A.6. Paradojas de la Relatividad especial: La paradoja de las gemelas.

La “paradoja de las gemelas” es un “experimento mental” que involucra dos gemelas. Cuenta que una de las gemelas viaja al espacio a velocidades cercanas a la luz y, cuando vuelve a la tierra, descubre que la gemela que se quedó en la tierra **¡es más vieja!**

Con el fin de atraer la atención del alumnado, puede verse el siguiente fragmento de la película Interstellar: [Twin paradox? Theory of Relativity shown in the Interstellar movie](#). La carga dramática de la película se basa en dicha paradoja. Su hija ha envejecido mucho más rápido y el protagonista la ve morir.

No obstante, la película Interstellar explica la dilatación temporal no solo por el viaje a velocidades cercanas a la luz sino también por la presencia de diferencias en los potenciales gravitatorios –en la película, ocasionado por el agujero negro denominado “Gargantúa”. La dilatación temporal gravitatoria –para más explicación, véase la [wikipedia](#)– no aparece en el currículo oficial, por lo que no

se incluye en esta UD.

Continuando con la “paradoja de las gemelas”, añadiremos datos concretos para que sea un problema menos abstracto. Datos: [2, p. 1141]

- Una de las gemelas se llama Alice y, la otra, Bea.
- Con 20 años, Alice viaja, a un 65.0% de la velocidad de la luz ($v = 0,65c$, donde c es la velocidad de la luz, $c = 3 \cdot 10^8$), a una estación espacial que está a 3.25 años luz y regresa.

La resolución es la siguiente: Tal como se habría visto antes en clase, un intervalo de tiempo –entre dos tics de un reloj, por ejemplo– depende de la velocidad de un “objeto” –por ejemplo, un reloj– en el sistema de referencia de un **observador**:

$$\Delta t = \gamma(v) \Delta t_0, \quad (\text{A.1})$$

donde

- Δt es el intervalo de tiempo en el sistema de referencia del “observador”.
- Δt_0 es el intervalo de tiempo del “objeto”.
- $\gamma(v)$ es el factor de proporcionalidad entre los intervalos de tiempo del “observador” y el “objeto”, denominado “factor de Lorentz”,

$$\gamma(v) \equiv \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}}. \quad (\text{A.2})$$

1. Calculamos el “factor de Lorentz”, $\gamma(v)$:

$$\gamma(v) = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{v}{c}\right)^2}} = \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{0,65c}{c}\right)^2}} = 1,315\dots \approx 1,32 \quad (\text{A.3})$$

2. Desde el punto de vista de Bea, la distancia que hace Alice es $d = 2 \cdot (3,25 \text{ (años luz)}) = 6,50 \text{ (años luz)}$. Se multiplica por dos porque viaja hasta la estación espacial y regresa por el mismo camino.

3. Para calcular la distancia recorrida desde el punto de vista de Alice, sin embargo, hay que aplicar la ley de la **contracción de longitud**,

$$L = \frac{L_0}{\gamma(v)}, \quad (\text{A.4})$$

donde, en paralelismo con la ecuación **A.1**,

- L es la distancia medida por el sistema de referencia del “observador”.
- L_0 es la distancia medida en el sistema de referencia del “objeto”.
- $\gamma(v)$ es el factor de proporcionalidad antes entre los intervalos de tiempo y las longitudes medidas por el “observador” y el “objeto”, el “factor de Lorentz” presente en la ecuación **A.2**.

¡Cuidado! En este caso el objeto no es el reloj que Alice lleva en la nave, si no la distancia entre la tierra y la estación espacial¹. Por lo tanto, en este caso L es la distancia medida por Alice mientras se mueve por dicha distancia, porque la distancia entre la tierra y la estación espacial está “quieta” para Bea, quien mide, L_0

Por tanto, aplicando la ecuación **A.4** obtenemos:

$$L = \frac{L_0}{\gamma(v)} = \frac{d}{\gamma(v)} = \frac{6,50 \text{ (años luz)}}{1,32} = 4,92 \text{ (años luz)}, \text{ donde} \quad (\text{A.5})$$

$L = 4,92 \text{ (años luz)} < L_0 = 6,50 \text{ (años luz)}$ porque la distancia entre la tierra y la estación espacial se **contrae** medido desde el sistema de referencia de Alice.

4. Por lo tanto, el tiempo que le cuesta a Alice completar el viaje de ida y vuelta

¹Se supone, para simplificar, que la distancia relativa entre la tierra y la estación espacial no cambia en todo el viaje.

a la estación espacial es:

$$v = \frac{L}{t} \quad \leftrightarrow \quad t = \frac{L}{v} = \frac{4,92 \text{ (años luz)}}{0,65c} \equiv \frac{4,92 c \cdot (\text{años})}{0,65c} = 7,57(\text{años}). \quad (\text{A.6})$$

5. La **aparente paradoja** reside en que mientras a Alice le cuesta 7.57 años completar el viaje, para Bea pasarán

$$\Delta t = \gamma(v)\Delta t_0 = 1,32 \cdot (7,57 \text{ (años)}) = 10(\text{años}). \quad (\text{A.7})$$

Por lo tanto, ¡cuando Alice vuelva a casa ella tendrá $(20 + 7,57) = 27,57$ años, pero Bea tendrá $(20+10) = 30$ años! **¡Bea ha envejecido más rápido!**

A.7. Ejercicios resueltos de Selectividad.

La comprensión de los ejercicios resueltos es una de las formas más eficaces de entrenarse para los exámenes, en especial para la prueba de acceso a la universidad. Véanse, por ejemplo, las siguientes direcciones web:

- **Escritos científicos. Relatividad**, donde se incluyen apuntes que intercalan ejercicios resueltos. [18]
- **IES Emilio Castelar (Madrid). Física Relativista. Prueba de acceso a la universidad** [8].
- **Colegio San Alberto Magno (Madrid). Física Relativista. Selectividad** [23]

Apéndice B

Física Cuántica. Anexos.

B.1. El gato de Schrödinger en *¡Allá tu!*. Escape room.

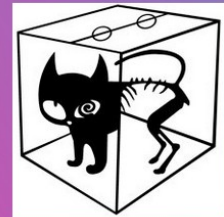
Como ejemplo de Gamificación, véase la siguiente Escape Room: [El gato de Schrödinger en *¡Allá tu!*](#).

En la siguiente página aparece una vista de impresión de las primeras diapositivas interactivas.

El gato de Schrödinger en "¡Allá tú!"

Principios de la Física Cuántica

EMPEZAR



Índice

Recopila todos los **números** completando cada uno de los retos e introdúcelos **en orden** en el apartado final para saber en qué caja del programa "¡Allá tú!" se ha escondido el gato de Schrödinger



Introducción



01 Quiz



02 ¡Busca!



03 Imagen correcta



04 Sigue la serie



Recompensa



INTRODUCCIÓN





QUIZ

¡Completa el siguiente quiz y consigue la primera cifra para encontrar al gato de Schrödinger!



EMPEZAR



QUIZ

PREGUNTA 1/5

¿Qué intenta explicar el experimento mental del "gato de Schrödinger"?

El principio de incertidumbre de Heisenberg

La dualidad onda-partícula

Los principios de la Física Cuántica



QUIZ

✗ ¡CORRECTO!



Explicación:

El gato de Schrödinger sirve para explicar los resultados experimentales de la física cuántica entre 1920 y 1930. Este conjunto de principios se denomina "Interpretación de Copenhague".

SIGUIENTE



QUIZ

PREGUNTA 2/5

¿Cómo se describe matemáticamente un sistema cuántico?

Mediante la "función de onda" ψ

Mediante la posición x .

Mediante la energía e .



QUIZ

✓ ¡CORRECTO!



SIGUIENTE



QUIZ

PREGUNTA 3/5

¿Qué describe la ecuación de Schrödinger?

La evolución temporal del sistema ψ

La evolución temporal de la posición x del sistema

La evolución temporal de la energía del sistema



QUIZ

✓ ¡CORRECTO!



SIGUIENTE



QUIZ

PREGUNTA 4/5

Señala la afirmación correcta:

La física cuántica es determinista

La física cuántica no es determinista

La física cuántica es determinista en ocasiones



QUIZ

✓ ¡CORRECTO!



Explicación:
Véase la "interpretación probabilística" de la Física Cuántica



SIGUIENTE



QUIZ

PREGUNTA 5/5

¿A qué magnitud está relacionada la probabilidad de un resultado?

A la división de la magnitud de la función de onda, $1/\psi$

Al cuadrado del valor absoluto de la función de onda, $|\psi|^2$

A la multiplicación de la función de onda, ψ



QUIZ

✓ ¡CORRECTO!



SIGUIENTE



QUIZ

✗ ¡ERROR!



¡Mal!
No pasa nada, los errores forman parte del aprendizaje.



VUELVE A INTENTARLO



¡BUSCA!

Entre todas las afirmaciones que descubras,
haz clic solo en las correctas



EMPEZAR



PULSA SOLO EN LAS AFIRMACIONES CORRECTAS 1/3

La física clásica no puede explicar los resultados de los experimentos que muestran que la posición x y la velocidad v de una partícula (por ejemplo) al mismo tiempo.



PULSA SOLO EN LAS AFIRMACIONES CORRECTAS 1/3

La física clásica sirve para explicar el experimento mente del gato de Schrödinger.

B.2. Aplicaciones de la Física Cuántica en la vida cotidiana. Ordenadores cuánticos.

Aunque las ventajas generales de los ordenadores cuánticos respecto a los clásicos se han descrito en la introducción de este trabajo, sección 1.1, a continuación se menciona un ejemplo concreto.

B.2.1. Ejemplo de supremacía cuántica. Algoritmo de Shor.

Un algoritmo muy conocido en el campo de la “Supremacía cuántica” –ámbito que estudia la superioridad de los ordenadores cuánticos con respecto a los clásicos, tal como se mencionó en la sección 1.2– es el **Algoritmo de Shor**, inventado en 1997 [25]. Dicho algoritmo es capaz de descomponer cualquier número entero N en sus factores primos.

Esto se considera imposible mediante la computación clásica, porque descomponer números muy grandes conlleva tiempos muy grandes. Dicho de forma simple, es fácil saber que 13 por 7 es 91, pero, dado 91, requiere más tiempo saber en qué números puede descomponerse.

El algoritmo de Shor emplea un principio de la Física Cuántica denominado **superposición de estados**. Dicho principio que ofrece la posibilidad de que un sistema –en este caso, un ordenador cuántico– se encuentre en varios estados a la vez y, por tanto, pueda solucionar varios problemas de forma paralela.

La página web [Quantum Composer: Shor's algorithm](#) permite simular el algoritmo cuántico en los ordenadores cuánticos virtuales de IBM. Es demasiado complejo, sobre todo por limitaciones temporales, para 2º de Bachillerato.

No obstante, puede empezarse, de forma opcional, a programar puertas lógicas cuánticas desde cero en el mencionado simulador de ordenadores cuánticos, con ayuda del siguiente tutorial: [Quantum Composer: Crea tu primer circuito cuántico](#).