

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

Máster Universitario en Profesor de Educación Secundaria Obligatoria
y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanzas de Idiomas



VNIVERSIDAD
DSALAMANCA

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL



EL CINE COMO RECURSO EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Autor: Noel Pérez González

Tutor: Antonio Calvo Hernández

Curso 2016/2017

UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

Máster Universitario en Profesor de Educación Secundaria Obligatoria
y Bachillerato, Formación Profesional y Enseñanzas de Idiomas



VNIVERSIDAD
DSALAMANCA

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL



800 AÑOS

1218 - 2018

EL CINE COMO RECURSO EN LA ENSEÑANZA DE LA FÍSICA

Autor: Noel Pérez González

Tutor: Antonio Calvo Hernández

Fdo. _____

Fdo. _____

Curso 2016/2017

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN.....	5
2. MARCO TEÓRICO	7
3. DOS PROPUESTAS PARA EL USO DEL CINE COMO RECURSO DIDÁCTICO	10
3.1. ENSEÑANDO FÍSICA A TRAVÉS DE FRAGMENTOS DE PELÍCULAS.....	11
a) Preparación del material.....	12
b) Visionado de los fragmentos.....	14
c) Trabajo con los alumnos.....	14
3.2. EL VISIONADO DE PELÍCULAS COMPLETAS PARA UNA EDUCACIÓN MÁS ALLÁ DE LA CIENCIA	16
a) Selección de la película	16
b) Visionado de la película.....	18
c) Trabajo con los alumnos.....	19
4. EJEMPLOS DE APLICACIÓN PRÁCTICA.....	21
4.1. INTERSTELLAR (2014).....	22
Selección de escenas	23
Actividades	32
4.2. ÁGORA (2009).....	33
Selección de escenas	35
Actividades	40
4.3. SELECCIÓN DE ESCENAS DIVERSAS	41
Passengers (2016). Conservación del momento lineal	41
Titanic (1997). Flotabilidad.....	43
El señor de los anillos: el retorno del rey (2003). Tiro parabólico	44
Marte (2015). Movimiento circular y momento angular.....	45
Ice age 4: la formación de los continentes (2012). Presión hidrostática.....	47
Gravity (2013). Satélites y velocidad orbital.....	48
5. CONCLUSIONES.....	50
BIBLIOGRAFÍA.....	52

1. INTRODUCCIÓN

Desde las leyes físicas que rigen nuestro mundo hasta los últimos avances tecnológicos de la humanidad, la ciencia nos rodea. Es una disciplina apasionante: la satisfacción por resolver un problema, la creación de instrumentos y aparatos con diversos fines o simplemente el placer de descubrir y conocer nuestro mundo son algo que muchos considerarán único. Sin embargo, la ciencia también es vocacional, y al mismo tiempo que hay alumnos que sí sienten este entusiasmo, este afán por descubrir cómo es el mundo, hay otros muchos alumnos que ven las asignaturas de Física y Química como algo complejo, abstracto, desconectado de la realidad y de escasa utilidad práctica.

Cabe preguntarse cuál es el motivo de esta percepción negativa de la ciencia. En primer lugar, hay que tener en cuenta el posible fracaso a la hora de relacionar los conceptos científicos con la vida real. Lemke (2001) apuntaba a que el currículo factual de las asignaturas científicas, entendido como el conjunto de contenidos por sí mismos, no tiene un impacto significativo en el conocimiento del mundo por parte de los alumnos sin una vinculación estrecha con el contexto sociocultural de estos contenidos. No tiene sentido por tanto hablar de un concepto sin relacionarlo con el contexto histórico en que se descubrió y su importancia en aquella época, con sus aplicaciones prácticas y tecnológicas o su uso por parte de la sociedad.

En segundo lugar, sería posible apuntar a la dependencia de las asignaturas de Física y Química de una base importante de matemáticas. A pesar de que los cálculos simbólicos y numéricos son imprescindibles en ciencias (sobre todo en los cursos más avanzados de la Enseñanza Secundaria), resultan en ocasiones un arma de doble filo para los alumnos. Por un lado, pueden llegar a ser un elemento desmotivador y de fracaso para algunos alumnos con una base pequeña de conocimientos matemáticos. Por otro lado, también pueden dar lugar a que los conceptos importantes se vean nublados por la mera aplicación de fórmulas matemáticas, sin entender su verdadero significado.

En tercer lugar, cabe también apuntar a la posible falta de experimentación. La física y la química son disciplinas que describen e interpretan el mundo real, y no tiene sentido hablar de los conceptos de estas ciencias como algo abstracto, o que existe meramente en la mente. Hay que trasladar estos conceptos a experiencias concretas, que se puedan ver o tocar, y no solo pensar.

Para intentar hacer la ciencia más atractiva, cercana y fácil de entender para nuestros alumnos, debemos pues intentar contextualizar los contenidos, relacionarlos con diversos aspectos de la vida real, y concretarlos en experiencias reales atractivas. Existen multitud de recursos y formas de llevar a cabo esta enseñanza y de relacionar la ciencia con la vida real: prácticas de laboratorio y experiencias de cátedra, excursiones científicas, uso de juguetes en clase, uso de las TIC (sensores del móvil, *Tracker*, simulaciones...), la ciencia de los superhéroes, la ciencia en el deporte, uso de material audiovisual (vídeos de YouTube, series de televisión, películas...), y un largo etcétera.

En este trabajo se estudiará en detalle uno de estos recursos, el cine, tanto por su valor a la hora de facilitar una concreción o ejemplificación de los conceptos científicos que se ven en clase, como por su valor a la hora de contextualizar y relacionar unos conceptos con otros dentro de la ciencia y de otras disciplinas, así como por su valor intrínseco como recurso llamativo, motivador y artístico. Así mismo, en este trabajo se restringirá el estudio al campo de la física, desde 4º de ESO hasta 2º de Bachillerato, salvo algunos conceptos que toquen asignaturas afines.

2. MARCO TEÓRICO

La inclusión de la ciencia y de las asignaturas científicas en el currículo de la escuela tuvo lugar inicialmente con el objetivo de preparar a los estudiantes para la continuación de sus posibles estudios científicos en la universidad. Sin embargo, la concepción de lo que debe ser la alfabetización científica y tecnológica ha cambiado en los últimos años. Esta educación científica ha de ser útil para todos los alumnos (no solo para aquellos que vayan a hacer una carrera científica), y por tanto ha de promover, además de la adquisición de una cultura científica básica, el desarrollo de las habilidades de deducción, razonamiento y debate, la iniciativa, la invención, el espíritu crítico, o la emisión de juicios de valor en relación a las ideas científicas y su valor social, ético o moral (Holbrook, 2010). Debe tratarse, pues, no de una mera enseñanza de la ciencia, sino de una educación *a través de la ciencia*.

De igual forma, y como ya se ha hablado en la introducción, la enseñanza de la ciencia necesita también un contexto (Lemke, 2001; Arroio, 2010), una utilidad, una relación con la sociedad y con la historia. Los conocimientos que aprendan nuestros alumnos en el vacío no les serán de utilidad, hay que dotarlos de conexiones con otros elementos de la sociedad, del entorno y de la vida, pues al fin y al cabo, el aprendizaje procede de la interacción de un individuo con su entorno más o menos próximo.

Por otro lado, el aprendizaje sólo tendrá éxito si los alumnos están motivados. La motivación de los alumnos depende de muchos factores, la mayoría de ellos intrínsecos, y es tarea de los profesores intentar buscar un buen clima y comunicación, y recursos y metodología diversos para fomentar esta motivación (Calvo, 2015; Palacios, 2007). En otras palabras, tenemos que lograr que aprender sea una experiencia apasionante.

Es aquí donde entra en juego, como uno de estos recursos motivadores, el cine. Durante toda su vida, los alumnos se ven sometidos constantemente a multitud de estímulos audiovisuales: la televisión, ordenadores, teléfonos móviles, Internet, videojuegos, cámaras de vídeo y fotos son el paradigma de la revolución tecnológica de los últimos años. Se dice que los alumnos hoy en día son *nativos digitales*, que han crecido con estos aparatos, y los entienden como parte de su cultura. Todos estos medios audiovisuales son casi tan naturales para los alumnos como la propia realidad, son algo que ven cercano a ellos, y pueden ser de gran utilidad como recurso en la enseñanza.

En lo que respecta al cine en particular (ya sea en la gran pantalla o en las televisiones domésticas), si bien es cierto que últimamente ha perdido la hegemonía como el principal medio audiovisual que conocen los alumnos (siendo sustituido, principalmente, por Internet), sigue siendo un elemento de gran influencia para los alumnos. En él se puede encontrar una vía de comunicación con los alumnos, que les resulte atractiva y natural, a la par que didáctica. A continuación se plantean algunas de las razones por las que el uso del cine como recurso en la enseñanza, y en particular en la enseñanza de las ciencias, puede ser de gran utilidad.

En primer lugar, el cine da contexto a los contenidos (Arroio, 2010; Arroio, 2011). Las películas generalmente tienen como protagonistas a personas reales, en un mundo que es percibido como un espejo de la realidad. Lo que le ocurre a estas personas no está abstraído de la realidad, plasmado en una pizarra en un lenguaje extraño. Lo que le ocurre a estas personas está relacionado con su entorno, con un hilo argumental, con sus antecedentes y consecuencias. El cine sirve pues como elemento de contextualización, ejemplificación y concreción. En ocasiones esto es sin embargo un arma de doble filo, ya que puede dar lugar a la asimilación de conceptos erróneos en películas sin ningún rigor científico (Quirantes, 2011), por lo que debemos tener cuidado en este aspecto a la hora de utilizar el cine como recurso didáctico.

En segundo lugar, el cine es globalizador. En una película no aparecen conceptos científicos y leyes físicas aisladas unas de otras, sino que aparecen interrelacionadas, y relacionadas con otras materias y ramas del conocimiento, lo que favorece una educación no solo científica, sino también una educación en valores sociales, éticos o artísticos. Por otro lado, esta interrelación puede ser usada por el profesor mediante debates o preguntas para favorecer el desarrollo de las competencias que, junto a los conocimientos puros, se debe intentar promover en los alumnos, como apuntaba Holbrook (2010): deducción, razonamiento, debate, espíritu crítico, iniciativa...

En tercer lugar, el cine es atractivo, seductor. La fotografía, los paisajes, las personas, los efectos especiales, la banda sonora, todo ello tiene belleza, es atractivo para los sentidos, para la vista y para el oído. Y el argumento, las conversaciones, el sentido del humor, el suspense, las emociones de los personajes, generan en nosotros sensaciones y emociones agradables. Esto puede ser aprovechado para atraer a los alumnos, para animarlos, para motivarlos, para llevarlos al conocimiento. En palabras del director de cine Jaime Rosales (Sánchez-Mellado, 2007):

El cine se ha convertido en una herramienta de seducción masiva. Eso no es malo. Pero esa no es su verdadera vocación, ni su eficacia. El cine tiene que ser una herramienta de conciencia, de conocimiento. Es delicado, porque si se plantea

como un instrumento de conocimiento puro y duro, puede rechazarse. Por eso es más interesante intentar crear una transformación de la seducción al conocimiento. Pero las películas aún tienen que jugar a la seducción.

Las películas han de gustarles a los sentidos. Somos sensibles a lo bello, desde un paisaje, un ambiente, una persona o una emoción. Todas esas son armas de seducción. Luego, el conocimiento es seductor de otra manera, pero no tan inmediata. Por eso esas armas aún no se pueden obviar, hay que usarlas, manipularlas de forma que lleven hacia algo más de conocimiento. La experiencia cinematográfica es mixta entre la seducción y la conciencia.

Por todos estos motivos, el cine ha sido estudiado y usado como recurso en la enseñanza en ámbitos muy diversos, desde las ciencias de la salud y medicina (García-Sánchez, 2002) hasta el derecho (Sáez, 2013), pasando por la historia (Breu, 2012) o la física (Calvo, 2015; Quirantes, 2011; Efthimiou & Llewellyn, 2004). También cabe destacar algunos trabajos que estudian el género de la ciencia ficción (Bacas, Martín, Perera, & Pizarro, 1993; García-Borrás, 2006; Palacios, 2007) o los efectos especiales del cine (Pinto, Prolongo, & Alonso, 2017) como recurso didáctico en física y química, respectivamente.

En cuanto a la enseñanza de las ciencias y de la física en particular, la mayoría de la bibliografía en torno al uso del cine en la docencia está orientada a un nivel superior al de la Educación Secundaria, generalmente a los primeros cursos de la Universidad. De hecho había algunas universidades españolas que ofertaban asignaturas de libre elección dedicadas exclusivamente al estudio de la física y la ciencia en la ciencia-ficción. En el ámbito de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato, sin embargo, la bibliografía es más reducida (Bacas, Martín, Perera, & Pizarro, 1993).

Las razones por las que el uso del cine como recurso abunda más en la enseñanza universitaria pueden ser varias. En primer lugar, la mayor especialización de los contenidos en una carrera científica ayuda a una mejor comprensión de los conceptos y leyes físicas diversas que se ven en las películas. En segundo lugar, los alumnos universitarios tienen una autonomía mayor, y encargarles como deberes el análisis o comentario crítico de una película no es excesivo. En tercer lugar, y especialmente con anterioridad a la implantación del Proceso de Bolonia gracias a las asignaturas de libre elección, es posible dedicar más tiempo al visionado y posterior análisis de las películas o de escenas de las mismas. A pesar de esto, el uso del cine como recurso didáctico en la física es extrapolable a la Enseñanza Secundaria, aunque con algunas modificaciones y adaptaciones como se verá más adelante.

3. DOS PROPUESTAS PARA EL USO DEL CINE COMO RECURSO DIDÁCTICO

Ya hemos visto cuáles son las ventajas del cine como recurso didáctico, pero a la hora de llevar el cine a las aulas en la práctica, se nos pueden plantear una serie de dificultades o dudas: de qué forma debemos preparar la actividad, cómo se ha de seleccionar y presentar la película, cómo ha de ser el visionado, cómo debemos trabajar con los alumnos o qué queremos transmitir o evaluar son algunas de estas preguntas que se intentarán responder aquí.

En primer lugar, quizás una de las preguntas más obvias es si es posible llevar a cabo la visualización completa de una película en una clase de ESO, o Bachillerato. Este tipo de visionado sería la mejor forma de usar el cine en clase, puesto que además de trabajar los contenidos puramente científicos, se podría trabajar el contexto histórico y social, los valores transmitidos, los detalles artísticos de la película o las capacidades de debate y razonamiento de los alumnos. Sin embargo, en el mejor de los casos, el visionado de una película completa abarcaría dos clases, y siendo realistas, lo más probable es que ocupe tres clases, sin contar el tiempo dedicado a trabajar sobre la película. Esto es, en la mayoría de las ocasiones, un lujo difícil de permitirse, especialmente en las asignaturas con mayor carga lectiva, como Física de 2º de Bachillerato, donde el tiempo de clase suele estar bastante ajustado. Aun así, sería posible utilizar este método en otras asignaturas como Cultura Científica, o realizando el visionado de forma voluntaria como actividad extraescolar, o mediante la visita en horario escolar a algún cine.

Por otro lado, cabe la posibilidad de proyectar fragmentos seleccionados de algunas películas. Esta forma de uso del cine como recurso tiene como ventajas su versatilidad en cuanto a los contenidos (pues se pueden seleccionar fragmentos de diversas películas) y en cuanto a la utilización (ya que apenas requiere tiempo de clase, y se puede emplear en cualquier momento), al tiempo que se mantienen las ventajas del cine como elemento de concreción, ejemplificación y motivación. Sin embargo, al seleccionar escenas sueltas se pierde la visión global y de conjunto que ofrece la película, así como la posibilidad de educar en valores. Aun así, sigue siendo un recurso didáctico muy útil para explicar algunos conceptos y llamar la atención de los alumnos, y puede ser utilizado en cualquier curso y asignatura.

A continuación, se describirán en detalle dos propuestas, dos formas de trabajar con el cine en el aula (mediante escenas sueltas, y mediante el visionado de películas completas), detallando cómo ha de ser la preparación de la actividad, el visionado, y el trabajo posterior con los alumnos. Posteriormente, se escogerá una selección de películas de ejemplo en cada uno de los casos, para ilustrar cómo sería la realización de la actividad en un caso real.

3.1. ENSEÑANDO FÍSICA A TRAVÉS DE FRAGMENTOS DE PELÍCULAS

La íntima relación entre la física y el cine es evidente. El cine no deja de sorprendernos con escenas sorprendentes de acrobacias, explosiones, fenómenos naturales y sobrenaturales, uso práctico de las leyes de la física, etc. Hoy en día, con el auge de Internet, es posible encontrar infinidad de páginas web, blogs, y artículos dedicados al estudio de la física en las películas, demostrando si las escenas de las mismas son verosímiles o no. En un ámbito más didáctico también es posible encontrar publicaciones que enseñan física de manera original apoyándose en escenas de películas (Amengual, 2005).

La proyección de fragmentos de películas en el aula es un recurso que ha sido llevado a la práctica con éxito en algunas universidades, tanto españolas como extranjeras. Quirantes (2011) llevó a cabo una recopilación de diversos fragmentos de películas (de entre 10 segundos y 2 minutos y medio de duración) para su uso como elemento didáctico en la asignatura de Física de primer curso de la licenciatura en Química en la Universidad de Granada. El resultado fue bastante bueno: la tasa de aprobados aumentó del 45% al 64% y la nota media aumentó en más de un punto sobre diez respecto al año anterior. Las opiniones de los alumnos recogidas en una encuesta fueron también bastante positivas.

Por su parte, Palacios (2007) fue docente de una asignatura de libre elección en la Universidad de Oviedo donde enseñaba diversos aspectos de la física a través de películas o fragmentos de películas y relatos de ciencia ficción, haciendo hincapié en el carácter divulgativo y fomentando el razonamiento y el espíritu crítico. La asignatura tenía entre 30 y 60 alumnos matriculados (según el año) procedentes de diversas carreras, lo que puede dar alguna idea del éxito de la iniciativa y del poder seductor del cine.

Fuera de nuestras fronteras, Efthimiou y Llewellyn (2004) pusieron en práctica este método (aunque combinado con la visualización completa de las películas como

deberes) en una asignatura de *Física en películas* en la Universidad de Florida Central, con una mejora notable (de más de un punto sobre diez) en las notas respecto a la asignatura tradicional de Física.

Este método es el más sencillo de planificar, y de poner en práctica en el aula, puesto que la mayor parte del trabajo del profesor consiste en la selección cuidadosa de los fragmentos para ilustrar diversos conceptos o leyes físicas. Es un método adecuado cuando se quiere poner énfasis en la educación más puramente científica, ya que facilita la comprensión de los conceptos teóricos al ser una herramienta de contextualización, concreción y ejemplificación de estos conceptos, al mismo tiempo que favorece la atención de los alumnos al ser un elemento llamativo con un gran poder de atracción.

Los pasos que se han de seguir a la hora de trabajar con fragmentos de películas se pueden clasificar en tres partes: preparación del material, visionado de los fragmentos, y trabajo posterior con los alumnos.

A) PREPARACIÓN DEL MATERIAL

La preparación de la actividad consiste principalmente en la selección de la película y de las escenas con mayor valor didáctico para su posterior utilización en clase, así como la preparación del material de trabajo posterior. Para realizar la selección de las escenas es conveniente atender a varios factores:

- Curso y nivel del alumnado. Las escenas escogidas deben representar o ilustrar los conceptos físicos a un nivel más o menos sencillo, y adaptado al nivel de la clase. Así mismo, es importante atender al carácter de la asignatura donde se vayan a usar. Por ejemplo, como se detallará más adelante, en Física de 2º de Bachillerato sería posible utilizar una escena de *Gravity* para hablar de la velocidad orbital de un satélite y hacer un ejercicio numérico aplicado a dicha escena, mientras que en Física y Química de 4º de ESO, donde el movimiento de los satélites se trata únicamente de manera cualitativa, dicha escena no tendría tanto valor.
- Conexión con el temario y los conceptos que se están viendo en clase. Es evidente que las escenas escogidas tienen que representar y ejemplificar de forma fiel los conceptos teóricos que se estén estudiando, pero también es importante escoger escenas donde dichos conceptos se representen aislados, o en conexión con otros conceptos que sean también conocidos. En otras palabras, no es conveniente escoger escenas donde haya muchos fenómenos

entremezclados o que no se conozcan aún, pues esto dificultaría su comprensión por parte del alumnado.

- Fidelidad a la realidad. Si lo que buscamos es una forma de ejemplificar, contextualizar y concretar un concepto para facilitar su aprendizaje, debemos buscar escenas donde dicho concepto esté representado fielmente, de manera realista, aunque casi siempre es posible permitir una cierta licencia artística. Por el contrario, una vez que los alumnos tienen una mayor comprensión de estos conceptos, también es posible presentarles escenas inverosímiles para debatir y discutir cuáles son sus errores. Sin embargo, es necesario tener cuidado con estas últimas escenas, más de ficción que de ciencia, y recalcar su inverosimilitud e incongruencia para no inculcar ideas falsas en la mente de los alumnos.
- Longitud de las escenas. Un estudio empírico sobre el uso de los vídeos en cursos online de diversas universidades demostró que los vídeos cortos, con una duración en torno a 3 minutos, conseguían involucrar más a los estudiantes (Guo, Kim, & Rubin, 2014). Es de esperar que estas premisas sean aplicables también, más aún si cabe, a los estudiantes de la ESO y Bachillerato. Por tanto las escenas escogidas no deberían tener una longitud superior a 3 minutos. Al mismo tiempo, tampoco deberían ser excesivamente cortas, pues es adecuado incluir también algo del contexto de la escena, de forma que los alumnos tengan tiempo de adaptarse al cambio de actividad y comprendan mejor qué está pasando en la escena.
- Valor artístico y seductor de la escena. Es conveniente seleccionar escenas que les resulten atractivas y llamativas a los alumnos, ya sea por la belleza del escenario y de la banda sonora, por el suspense o adrenalina de una escena de acción, por el sentido del humor, o por que los alumnos se puedan sentir identificados con la situación. Si además la escena es de una película muy conocida o que hayan visto una parte significativa de los alumnos, la actividad resultará más amena y motivadora. El hecho de conocer de antemano los gustos de los alumnos puede ser de gran ayuda llegados a este punto.
- Idioma y disponibilidad. Lo ideal es escoger una película doblada al castellano y seleccionar la escena uno mismo. Si no es posible, la alternativa sería proyectar la escena en versión original con subtítulos (por lo general, las conversaciones no serán lo importante en este método de trabajo), o escoger la escena ya seleccionada y recortada de una plataforma como YouTube.

- Contenido adyacente a la física. Aunque a la hora de escoger escenas sueltas este punto no es tan importante, sí que debemos como mínimo evitar aquellas escenas que puedan resultar violentas a los alumnos, ya sea por su contenido explícito (escenas sangrientas o sexuales) o por su contenido implícito (actitudes violentas, sexistas o intimidatorias, valores poco éticos, etc).

Una vez seleccionada la escena, es conveniente verla un par de veces más, recortándola de forma adecuada, atendiendo a los detalles que pueda haber, reflexionando sobre qué se puede aprovechar de ella en el curso correspondiente, y sobre cómo pueden trabajar los alumnos a partir de dicha escena.

B) VISIONADO DE LOS FRAGMENTOS

Para el visionado de las escenas por parte de los alumnos es necesario disponer de un sistema de proyección en una pantalla dentro de la clase. Hoy en día, gran parte de los institutos disponen de cañones de proyección en las aulas, por lo que esto no debería suponer un problema. Otras alternativas, aunque desaconsejables, serían el empleo de una televisión o pantalla portátil (su reducido tamaño puede impedir ver bien a los que se sientan atrás) o llevar a los alumnos a una sala de audiovisuales (puede no merecer la pena si sólo se va a proyectar una o dos escenas sueltas).

Respecto a cuándo proyectar la escena o escenas, es conveniente realizarlo hacia la mitad o un poco más tarde de la clase, de forma que se aproveche la primera mitad de la misma, cuando los alumnos están más atentos, para las actividades normales del curso. Posteriormente, se presentará la actividad a realizar en dos minutos o tres, repasando brevemente los conceptos que se quieren ejemplificar, resumiendo las características y argumento de la película y contextualizando la escena que se va a ver. Así mismo, si la escena lo permite, puede ser interesante preguntar a los alumnos qué creen que va a pasar. A continuación tendría lugar el visionado y después las actividades de trabajo con los alumnos, como se detallan en el apartado siguiente.

C) TRABAJO CON LOS ALUMNOS

A la hora de proyectar fragmentos de películas el objetivo buscado es hacer un concepto físico más fácil de entender para los alumnos, verlo desde distintos ángulos para mejorar su comprensión. En esta línea ha de ir el trabajo posterior. Al igual que la escena, el trabajo ha de ser ameno en la medida de lo posible, adecuado al curso y contenidos de la asignatura y al nivel de los alumnos, y no muy largo. Así mismo, y a diferencia con el visionado de películas completas, no es necesaria la evaluación específica de este trabajo más allá de la participación en los debates o el interés de

los alumnos por la actividad (al igual que en una clase ordinaria). Algunos ejemplos de actividades que se pueden realizar tras el visionado son:

- Comentarios y debate. Es interesante preguntar a los alumnos que expliquen con sus palabras qué ha pasado, o por qué ha sucedido lo que ocurre, y contrastarlo con sus concepciones previas si éstas fueran diferentes, para trabajar el razonamiento y para evitar que los alumnos tengan concepciones previas falsas, que pueden resultar muy dañinas para el correcto aprendizaje. En este sentido también se pueden hacer debates sobre *¿Realidad o ficción?*, promoviendo el desarrollo del espíritu crítico. Así mismo, mediante el debate también se potencia la competencia en comunicación lingüística oral.
- Planteamiento de situaciones hipotéticas. Otra forma de trabajo relacionada con la anterior, aunque de un nivel algo superior, es el planteamiento de problemas cualitativos relacionados con la escena vista. En otras palabras, se trata de que los alumnos piensen, deduzcan y respondan a la pregunta *¿Qué pasaría si...?* De esta forma, además de ejercitar el razonamiento se promueve la curiosidad, el espíritu investigador y el sentido de la iniciativa.
- Planteamiento de problemas cuantitativos. A partir de la escena, puede ser interesante también realizar estimaciones numéricas o cálculos precisos sobre diversas magnitudes físicas involucradas, así como compararlas con las de otros sistemas físicos conocidos. De esta forma se potencia la conexión entre la asignatura y los conceptos teóricos y el mundo real, al mismo tiempo que se va facilitando a los alumnos una escala cualitativa de dichas magnitudes, de forma que puedan saber si una medida es grande o pequeña en relación con diversos fenómenos observados en la vida cotidiana.

En definitiva, el uso de fragmentos de películas como recurso didáctico es bastante útil a la hora de intentar facilitar la comprensión de diversos conceptos por parte de los alumnos, y de potenciar en ellos aquellas capacidades y competencias más estrechamente relacionadas con el campo de las ciencias en general, y de la física en particular, con el objetivo de conseguir que los alumnos logren un aprendizaje científico más significativo. Más adelante se estudiarán unos cuantos fragmentos de películas (alguno de los cuales se utilizó en clase durante las prácticas del Máster), indicando porqué se han elegido, qué se quiere tratar con ellos y cómo se podría trabajar con ellos, como ejemplo y aplicación práctica de estas líneas generales.

3.2. EL VISIONADO DE PELÍCULAS COMPLETAS PARA UNA EDUCACIÓN MÁS ALLÁ DE LA CIENCIA

La proyección de películas completas como recurso didáctico en el campo de la física ha sido objeto de estudio en el campo de la ciencia en particular (Arroio, 2011; García-Borrás, 2006) y en la educación en general (Ambròs & Breu, 2007; Pérez-Parejo, 2010). Como casos prácticos de aplicación al aula en un nivel universitario podemos destacar a Palacios (2007), de quien ya hemos hablado en el apartado anterior y a Encina Calvo (2015), quien usó diversos recursos (arte contemporáneo, cine, literatura y vídeos) para que sus alumnos hicieran un trabajo sobre los mismos, para exponerlo después en clase, fomentando así una serie de competencias transversales: comunicación lingüística, espíritu crítico, creatividad o trabajo en grupo.

Este desarrollo de las competencias transversales es precisamente la ventaja de la proyección de una película completa; además de trabajar el razonamiento, el espíritu crítico, la exposición oral o la curiosidad es posible educar en valores (valores éticos, conciencia y expresiones culturales, la ciencia en la sociedad, etc) y conseguir una visión más global de la educación, relacionando unos conceptos con otros y unas ramas del conocimiento o asignaturas con otras.

El uso de este método requiere una planificación mayor, tanto a la hora de seleccionar la película (hay que prestar atención a diversos aspectos y hay que revisar toda la película en lugar de sólo una escena) como a la hora de llevar a cabo su visualización o de preparar el material de trabajo posterior. Estos tres aspectos se detallan a continuación.

A) SELECCIÓN DE LA PELÍCULA

Para seleccionar la película es recomendable verla más de una vez (Arroio, 2010). El primer visionado ha de ser espontáneo, natural, disfrutando la película, de forma que tras el mismo podamos saber si ésta es atractiva y adecuada para su proyección en un aula de secundaria. Al mismo tiempo, podemos determinar en líneas generales las posibilidades que ofrece y si la película es útil para la educación de los alumnos, atendiendo, de igual forma que antes, aunque con diferentes matices, a varios factores:

- Adecuación al curso académico. Aquí no sólo es necesario tener en cuenta el nivel de los contenidos científicos que aparecen en la película, sino también si el lenguaje de los personajes es fácil de seguir o no, si el contexto y la ambientación general es más o menos conocida, o si la estructura de la

película es lineal y fácil de seguir o, por el contrario, tiene saltos temporales o multitud de hilos argumentales que dificultan su comprensión general.

- Conexión con el temario. Los conceptos y leyes físicas que aparecen en la película han de ser conocidos o cercanos a los que se han estudiado en clase, para que la experiencia sea útil para el aprendizaje de los alumnos. También es interesante si aparecen en la película aplicaciones prácticas o consecuencias de dichos conceptos para una posterior discusión.
- Fidelidad a la realidad, tanto científica como social o histórica, en la medida de lo posible. Es evidente que siempre hay presente una componente de ficción en todas las películas, pero no son recomendables aquellas películas en las que resulte difícil distinguir qué es realidad de qué es ficción, al menos con alumnos cuyos conocimientos de la realidad no están firmemente asentados, pues podría resultar contraproducente, asentando en la mente de los alumnos interpretaciones falsas de la realidad.
- Idioma y calidad técnica: es altamente recomendable (salvo que se plantee como experiencia bilingüe) que la película esté doblada al castellano, pues el hecho de tener subtítulos dificulta la visión de las escenas (pues la vista se dirige hacia el texto durante las conversaciones) y hace más cansada y menos disfrutable la experiencia. De igual forma, es recomendable la proyección de películas más o menos actuales, con buena calidad de imagen y de sonido, de forma que los alumnos lo perciban como algo cercano, y no como algo de otro siglo.
- Valor artístico y seductor de la película. Esto es de especial importancia a la hora de proyectar un largometraje; la película ha de enganchar a los alumnos, y no sólo eso, ha de mantener esta motivación, esta atracción durante una hora y media o dos horas, algo difícil de conseguir con alumnos adolescentes. Aquí entran en juego, además de los aspectos puntuales de cada escena, el género, la trama, la conexión con los gustos y aficiones de cada alumno o la estética general de la película. Es recomendable pues elegir películas comerciales, actuales, o con actores conocidos y cercanos a los alumnos para que estos puedan disfrutar mejor la experiencia. Así mismo, no es recomendable elegir películas muy largas, al menos en la ESO.
- Contenido no científico. Este aspecto también es importante, pues es el objetivo principal de proyectar una película completa. La personalidad y motivaciones de cada personaje, el contexto o impacto social o histórico de

una idea, la conexión con otras asignaturas o la representación del espíritu científico, la curiosidad y la búsqueda de conocimiento, son algunos de los elementos que debemos buscar en una película para que contribuya a la educación en valores y global de los alumnos, y en definitiva, a su educación integral.

Tras este primer visionado, debemos realizar un segundo visionado pausado, deteniéndonos en las escenas de interés científico, en los elementos técnicos de la película (ambientación, vestuario y maquillaje, banda sonora, montaje, fotografía...), y en los valores o mensajes que se intentan transmitir, reflexionando sobre cómo se pueden aprovechar en el contexto de la clase para comentarlos o trabajarlos con los alumnos.

B) VISIONADO DE LA PELÍCULA

A la hora de planificar la visualización de la película hay que tener en cuenta el tiempo disponible. Puesto que en un instituto las clases duran en torno a 50 minutos, la proyección completa duraría entre dos y tres clases, dependiendo de la película. Esta proyección en horario de clase es desaconsejable, sin embargo, por dos motivos: el primero, porque al dividir la película en varias partes se pierde el hilo de la misma, y la actividad resulta menos fructífera, y el segundo, porque se "pierde" tiempo de clase. Este segundo motivo no es relevante (al fin y al cabo es tiempo invertido en el aprendizaje de los alumnos) en asignaturas más divulgativas, como Cultura Científica, donde prima más la motivación y el interés por la ciencia, el debate y el espíritu crítico que la adquisición de conocimientos formales. Sin embargo, en asignaturas donde es necesario explicar todo el temario como Física de 2º de Bachillerato, el tiempo de clase puede estar un poco ajustado y resultar escaso para proyectar películas en él.

Una alternativa es la realización del visionado como actividad extraescolar, de forma voluntaria para los alumnos que quieran. Esta opción es útil si la mayoría de los alumnos se muestran interesados en asistir a la proyección; si no es posible convencer a una mayoría significativa la actividad no resultará tan útil para el conjunto de la clase en general. Además, si la actividad se realiza en horario no lectivo se pierde la posibilidad de poder evaluarla.

Otra alternativa es la visita a un cine como actividad en horario lectivo, si la película está aún en cartelera, la proyección de la película en dos horas seguidas de clase, ya sea pidiendo prestada la hora a otro profesor, o realizando una actividad conjunta entre los profesores de dos o más asignaturas. Por ejemplo, la película *Agora*, como

se detalla más adelante, es un buen ejemplo para realizar una actividad conjunta con los profesores de matemáticas, filosofía, valores éticos o historia.

Antes de la proyección es conveniente explicar a grandes rasgos en qué va a consistir, mediante una breve introducción del tema y el contexto de la película y algunos datos técnicos o de interés, así como una breve recapitulación de lo que se quiere ver o conseguir con la película (García-Borrás, 2006; Pérez-Parejo, 2010). En cualquier caso, el objetivo es que los alumnos disfruten de la película, pues sólo si disfrutan conseguirán aprender. Por ello es importante que la proyección sea seguida (sin interrumpir en diversas escenas; es mejor comentarlas al final), que la luz sea tenue (aunque sin estar completamente a oscuras) y que el ambiente sea relajado.

Por último, respecto a la proyección de películas completas en el aula es importante remarcar que la actual Ley de Propiedad Intelectual, modificada en 2014 (Ley 21/2014) permite en su artículo 32.3 la reproducción de pequeños fragmentos de obras con fines didácticos sin necesidad de la autorización del autor o editor, pero no de obras completas, por lo que para la proyección legal en el aula sería necesaria dicha autorización.

C) TRABAJO CON LOS ALUMNOS

Tras el visionado, es interesante comentar la película desde diversos ángulos (García-Borrás, 2006; Pérez-Parejo, 2010). Este análisis de la película debe ser relativamente profundo (a diferencia de cuando se emplean fragmentos sueltos), y lo habitual es que dure una clase completa. En primer lugar, justo al acabar la película, se pueden comentar las impresiones generales, si ha gustado, si se ha seguido bien el argumento, o si han descubierto algo nuevo, con el objetivo de evaluar la actividad docente y buscar formas de mejorar en el futuro.

En segundo lugar, no mucho después de ver la película (uno o dos días como mucho, para que la tengan reciente), se pueden analizar los elementos subjetivos: cómo son los personajes, cuál es su personalidad y motivaciones, qué elementos le han llamado la atención a cada alumno, qué relación, semejanzas y diferencias hay entre el mundo de la película y el mundo real, qué moraleja (si existe) se puede extraer de la película o de sus escenas, qué implicaciones para la sociedad o para los individuos puede tener un invento tecnológico o un descubrimiento físico, qué valores se intentan transmitir, y un largo etcétera. También se puede comentar y analizar el aspecto técnico y artístico de la película: el vestuario y maquillaje, la ambientación, el montaje, la fotografía, los planos, la banda sonora...

En tercer lugar, es posible realizar una selección de escenas interesantes de la película por diversos motivos, y analizarlas una a una, algunas por encima, simplemente para comentar algo o relacionarlas con algún concepto ya visto o que se vaya a ver en el futuro, y otras más en detalle, mediante el debate, la reflexión o el planteamiento de problemas y situaciones hipotéticas de la forma vista en el apartado anterior. En esta selección de escenas es donde entran en juego los conceptos físicos y científicos, aunque no nos debemos restringir únicamente a este tipo de escenas, sino que es recomendable comentar escenas que sean interesantes por motivos no sólo académicos o científicos, sino también sociales, éticos, artísticos...

En último lugar es recomendable que esta actividad sea evaluada y que los alumnos tengan que elaborar un material escrito para asentar sus reflexiones y consolidar el aprendizaje. Esta evaluación puede realizarse en clase mediante una hoja de preguntas abiertas o semiabiertas (García-Borrás, 2006) o en casa mediante un ensayo-reflexión sobre qué les ha llamado la atención a los alumnos, qué consideran que han aprendido, un resumen de la película y sus elementos más llamativos, un trabajo de investigación... De esta forma se puede evaluar la capacidad de expresión escrita, la creatividad y originalidad, el espíritu crítico, la capacidad de relacionar conceptos y extrapolar unas situaciones a otras y otros aspectos que serían difíciles de evaluar mediante un examen tradicional.

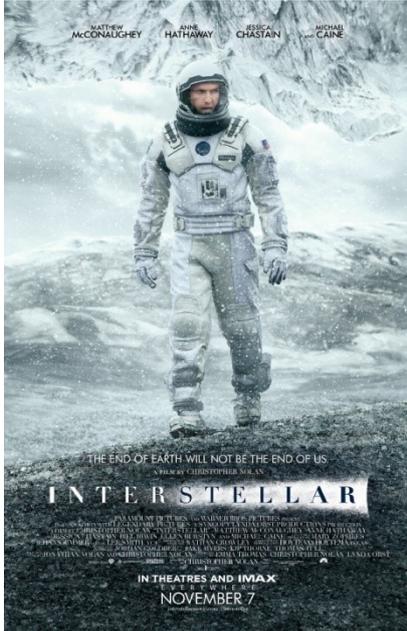
4. EJEMPLOS DE APLICACIÓN PRÁCTICA

A continuación se recogen algunos ejemplos donde se pone en práctica el modelo de trabajo teórico que se ha visto en el apartado anterior. En primer lugar, se presentan dos películas, *Interstellar* y *Ágora*, y se propone su visionado completo como actividad para los cursos de 2º de Bachillerato (en la asignatura de Física principalmente) y 4º de ESO (en las asignaturas de Física y Química y Cultura Científica), respectivamente. Para cada una de estas películas se recogen la ficha técnica, una breve sinopsis y los motivos por los que se ha elegido y qué se puede trabajar con ella en general. Posteriormente, se seleccionan una serie de escenas de interés por su contenido científico, histórico, social o ético, comentando en cada una de ellas qué fenómenos físicos aparecen o cómo podría ser utilizada en la enseñanza. Finalmente, se proponen algunas actividades para que los alumnos realicen tras el visionado y comentario de la película.

En segundo lugar, se recogen algunos fragmentos de diversas películas donde aparecen plasmados diferentes conceptos y fenómenos físicos, para su uso puntual en clase. Para cada uno de estos fragmentos se detallan una breve descripción de la escena, los motivos por los que se ha elegido, los contenidos y conceptos físicos que tienen lugar en ella y una propuesta de actividad en clase para trabajar a partir de dicha escena.

En estos ejemplos también se recogen los contenidos que se trabajan con cada escena o película, los criterios de evaluación y los estándares de aprendizaje evaluables, extraídos con algunas adaptaciones de la legislación vigente (Real Decreto 1105/2014; Orden EDU/362/2015; Orden EDU/363/2015; Orden ECD/65/2015). Así mismo, se recogen también las competencias específicas que se trabajan con cada escena o película: competencia matemática y competencias básicas en ciencia y tecnología (CMCT), competencia para aprender a aprender (CPAA) competencia en comunicación lingüística (CCL), competencia digital (CD), sentido de la iniciativa y espíritu emprendedor (SIE), competencias sociales y cívicas (CSC) o conciencia y expresiones culturales (CEC). Esta última, y en menor medida la competencia digital, se trabajan de forma común en todas las escenas y películas, pues al fin y al cabo, el cine no deja de ser un arte y una forma de cultura.

4.1. INTERSTELLAR (2014)



Director: Christopher Nolan

Productores: Emma Thomas, Christopher Nolan,
Lynda Obst

Guión: Jonathan Nolan, Christopher Nolan

Protagonistas: Matthew McConaughey, Anne
Hathaway, Jessica Chastain, Bill Irwin, Ellen Burstyn,
Michael Caine, Matt Damon

Música: Hans Zimmer

Fotografía: Hoyte van Hoytema

Montaje: Lee Smith

País: EE.UU./ Reino Unido/ Canadá/ Islandia

Año: 2014

Duración: 169 min.

Interstellar narra la historia de la búsqueda de un lugar habitable más allá de la Tierra. Una plaga está acabando con las cosechas en la Tierra, y Joseph Cooper, un antiguo ingeniero y piloto de la NASA, descubre, codificadas en una anomalía gravitatoria, las coordenadas de unas instalaciones secretas de la NASA. Allí están desarrollando un plan para salvar a la especie humana, consistente en la búsqueda de otros mundos habitables en otra galaxia, a la que se accede a través de un agujero de gusano que apareció cerca de Saturno algunos años antes. Cooper accede a embarcarse en esta peligrosa expedición para salvar a su familia y en última instancia, a la especie humana.

La visualización de *Interstellar* se propone como actividad para 2º de Bachillerato, debido al elevado nivel de los conocimientos científicos que aparecen en ella, así como a su ligera complejidad argumental. Los conceptos de interés científico que aparecen en la película tienen una gran relación con parte del temario de la asignatura de Física (gravitación, relatividad, algo de óptica...) y pueden ser de gran utilidad en esta asignatura, pero también con la asignatura de Ciencias de la Tierra y el Medio Ambiente (CTMA): el medio ambiente como recurso para la humanidad, contaminación atmosférica, degradación del suelo y desertificación... Además, gracias a que el físico teórico Kip Thorne ejerció como asesor científico y productor ejecutivo de la película, la mayoría de los conceptos físicos se representan de forma realista y precisa, favoreciendo una muy buena ejemplificación de conceptos abstractos y complejos como puede ser la relatividad o la concepción de dimensiones adicionales.

Estos conceptos científicos vienen también acompañados de una gran carga filosófica: el sacrificio por el bien mayor (la supervivencia de la especie), la soledad, el egoísmo, el amor como fuerza de la naturaleza, el mundo más allá de nuestras restricciones dimensionales... Todos ellos dan pie a la reflexión, al debate, y fomentan una educación más completa. En la selección de escenas que se detallan a continuación se ha dado prioridad a las escenas con un mayor contenido científico, para su posible uso también como escenas sueltas, pero hay otras muchas de un gran valor educativo, sentimental o filosófico en las que convendría detenerse a la hora de comentar la película tras un visionado completo.

Por otro lado, se trata de una película muy reciente y conocida, altamente valorada por la crítica en general, y de una calidad artística excepcional, ganadora de un óscar a los mejores efectos visuales, y de varias nominaciones a mejor banda sonora, edición de sonido y diseño de producción.

SELECCIÓN DE ESCENAS

La plaga y las tormentas de polvo (2:44 – 3:30)



En esta escena se narra como la plaga acabó con el trigo, y como el maíz es de los últimos cultivos que sobreviven. Debido a la pérdida de masa vegetal y a la desertización, las tormentas de polvo son constantes, y se cubren la nariz para no inhalarlo. Más adelante en la película se

verán más escenas sobre la plaga y como el polvo causa problemas respiratorios.

Contenidos (CTMA): La degradación del suelo. Desertificación. Contaminación atmosférica.

Criterios de evaluación: Analizar los problemas ambientales producidos por la deforestación. Argumentar las repercusiones ambientales, biológicas, sociales y sanitarias de la contaminación atmosférica.

Estándares de aprendizaje evaluables: Identifica los efectos biológicos y las consecuencias sociales, ambientales y sanitarias del polvo como contaminante, e identifica su origen en la desertización producida por la pérdida de masa vegetal.

Competencias: CMCT, CSC

El fantasma y la ciencia (3:42 – 4:32)



Una extraña fuerza ha tirado un juguete de la estantería de Murph, hija de Cooper. En familia debaten sobre si ha sido un fantasma, y de si es una explicación científica. *La ciencia está para explicar lo que desconocemos* – dice Murph. Su padre le recuerda que para hacer ciencia hay

que *registrar los hechos, analizarlos, llegar al cómo, al porqué y luego exponer tus conclusiones.*

Contenidos (Física): Estrategias propias de la actividad científica: etapas fundamentales en la investigación científica.

Criterios de evaluación: Reconocer y utilizar las estrategias básicas de la actividad científica.

Estándares de aprendizaje evaluables (a lo largo de la película): Aplica habilidades necesarias para la investigación científica, planteando preguntas, identificando y analizando problemas y emitiendo hipótesis fundamentadas.

Competencias: CMCT, CPAA

El dron (7:40 – 9:35)



Tras perseguirlo de manera un tanto temeraria a través de los campos de maíz, Cooper consigue tomar el control de un dron de vigilancia errante para conseguir sus células solares como fuente de energía. Aunque no se enmarca dentro de los contenidos de ninguna asignatura

concreta, puede ser interesante debatir sobre seguridad al volante, la relación entre el mundo de la película con nuestro mundo actual (donde los drones y los robots son cada vez más una realidad), la reutilización y reciclaje de la tecnología o la relación entre humanos y robots, a raíz de la frase de Murph: *¿No podemos soltarlo? No le ha hecho daño a nadie.* Esta relación entre humanos y robots aparece más veces a lo largo de la película.

Reunión en la escuela (9:58 – 12:47)



Cooper tiene una reunión con el director de la escuela y la profesora de Murph. Allí le informan de que los resultados de su hijo Tom son buenos, pero no tanto para ir a la universidad. *No necesitamos más ingenieros. No nos hemos quedado sin televisores ni aviones, nos hemos quedado*

sin comida. El mundo necesita granjeros, le dice el director. La profesora de Murph también le dice a propósito de un libro de Murph que el aterrizaje en la luna sólo fue un montaje para llevar a la Unión Soviética a la ruina y a construir máquinas inútiles, a lo que Cooper contesta que una de esas máquinas (IRM, imagen por resonancia magnética) hubiera salvado la vida de su mujer, detectando un quiste en su cerebro.

Esta escena nos puede servir para hablar de cómo la necesidad cambia a la sociedad y sus principios y creencias, y de cómo la investigación científica da lugar a descubrimientos e inventos que tienen aplicaciones en otros ámbitos muy diferentes, como la medicina, en este caso.

Fallo en las cosechadoras (13:29 – 15:42)



Las cosechadoras de la granja se han arremolinado en torno a la casa. El abuelo dice que *algo está interfiriendo con la brújula. Algún campo magnético o algo por el estilo*. En la habitación de Murph algo está tirando los libros de la estantería, y Murph registra la posición de

los huecos por si hubiera algún mensaje codificado, aplicando el método científico como le dijo su padre.

Contenidos (Física): Campo magnético y campo magnético terrestre.

Criterios de evaluación: Conocer el concepto de campo magnético y sus aplicaciones.

Estándares de aprendizaje evaluables: Explica qué es un campo magnético y lo reconoce en el caso de imanes permanentes, brújulas o el magnetismo terrestre.

Competencias: CMCT

Mensajes en la arena (19:20 – 21:49)



Una tormenta de arena hace que entre una gran cantidad de polvo en la habitación de Murph. El polvo cae al suelo con un patrón de rayas, que Cooper descifrará como coordenadas en binario. Además descubre que en algunos puntos, una moneda cae más deprisa que en

otros. *No es un fantasma. Es la gravedad* – dice.

Contenidos (Física): Concepto de campo. Campo gravitatorio. Líneas de campo gravitatorio.

Criterios de evaluación: Asociar el campo gravitatorio a la existencia de masa y caracterizarlo por la intensidad del campo.

Estándares de aprendizaje evaluables: Diferencia entre los conceptos de fuerza y campo y relaciona este último con la aceleración de la gravedad. Representa el campo gravitatorio mediante las líneas de campo y las relaciona con el movimiento del polvo en la habitación.

Competencias: CMCT

Lanzamiento del cohete (42:17 – 43:24)



En las coordenadas codificadas en la arena, Cooper y Murph descubren unas instalaciones secretas de la NASA. Allí les informan de que están buscando nuevos mundos habitables en otra galaxia, a la que se accede a través de un agujero de gusano, para salvar a la humanidad. Ya

han enviado a varios hombres, entre ellos Mann y Edmunds, en una misión de reconocimiento. Cooper accede a recoger información de estos planetas junto a su tripulación (entre ellos la doctora Brand) como piloto del *Ranger*. Durante el lanzamiento, los módulos de propulsión se desprenden, una vez vacíos de combustible.

Contenidos (Física): Energía y velocidad de escape de un objeto. Energía para poner en órbita un satélite.

Criterios de evaluación: Justificar las variaciones energéticas de un cuerpo en movimiento en el seno de campos gravitatorios.

Estándares de aprendizaje evaluables: Calcula la velocidad de escape de un cuerpo, aplicando el principio de conservación de la energía mecánica, y justifica por qué se desprenden algunos módulos durante el lanzamiento de un cohete. Aplica la ley de conservación de energía al movimiento orbital de un satélite.

Competencias: CMCT

El *Ranger* en el espacio (43:28 – 45:28)



Cooper pilota el *Ranger* hasta la estación espacial *Endurance*, en un ambiente de ingravidez (casi) total.

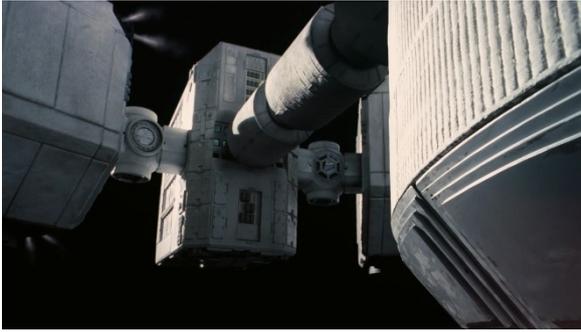
Contenidos (Física): Leyes de Newton (repaso de 1º).

Criterios de evaluación: Comprender el significado y las consecuencias de las leyes de Newton

Estándares de aprendizaje evaluables: Explica mediante las leyes de Newton cómo es el movimiento de un objeto en ausencia de fuerzas, y cómo funciona un sistema de propulsión, como el de un cohete o nave espacial.

Competencias: CMCT

La *Endurance* en rotación (47:58 – 49:11)



Cooper activa algunos propulsores para poner la estación *Endurance* en rotación y con ello conseguir una gravedad artificial en el anillo exterior.

Contenidos (Física): Movimiento circular uniforme (repaso de 1º). Fuerza centrípeta y centrífuga. Momento de una fuerza y momento angular.

Criterios de evaluación: Justificar la necesidad de que se produzcan fuerzas para que se produzca un movimiento circular. Distinguir los conceptos de fuerzas centrípeta y centrífuga, y conocer su valor. Entender el concepto de momento angular y momento de una fuerza, y la relación entre ambos.

Estándares de aprendizaje evaluables: Explica qué fuerzas actúan sobre un cuerpo en rotación y calcula la fuerza centrípeta de un móvil (un astronauta) en un movimiento circular uniforme. Justifica para qué y cómo los astronautas hacen girar la *Endurance* en la película.

Competencias: CMCT

El agujero de gusano (57:09 – 59:15)



Cuando llegan al agujero de gusano, éste es una esfera, y no un círculo. Uno de los tripulantes explica a Cooper por qué esto es así. Además, parece una bola de cristal, debido a que el agujero de gusano curva el espacio tiempo y la luz no sigue una trayectoria recta. Aunque esto se aleja

mucho del nivel de 2º de Bachillerato, es posible relacionarlo de manera cualitativa con los contenidos de óptica geométrica y formación de imágenes en lentes, pues el fenómeno subyacente (la curvatura de la luz) es el mismo, aunque su origen sea diferente.

Gargantúa y la relatividad del tiempo (62:34 – 66:15)



Uno de los posibles planetas habitables orbita cerca de Gargantúa, un agujero negro. La relatividad cerca del agujero negro hace que *cada hora en ese planeta sean siete años en la Tierra*. Aunque esto se debe a la relatividad general, asociada a la gravedad, es posible extrapolarlo a la

relatividad especial para los alumnos, y discutir su relación con otras consecuencias de la relatividad, o la paradoja de los gemelos. También se puede hablar a nivel divulgativo sobre agujeros negros, qué son, cómo se forman...

Contenidos (Física): Teoría Especial de la Relatividad. Repercusiones: dilatación del tiempo.

Criterios de evaluación: Calcular la dilatación temporal y la contracción espacial que sufre un sistema al desplazarse a velocidades cercanas a la de la luz respecto a otro. Conocer y explicar los postulados y aparentes paradojas de la física relativista.

Estándares de aprendizaje evaluables: Calcula la dilatación temporal que experimenta un observador desplazándose a velocidades cercanas a las de la luz respecto a otro. Discute las aparentes paradojas asociadas a la Teoría Especial de la Relatividad.

Competencias: CMCT

Olas gigantes (69:45 – 73:05)



En este planeta cubierto por agua, debido a su proximidad a Gargantúa, existen unas fuerzas de marea enormes, que generan olas gigantescas, que a su vez han erosionado el planeta hasta dejar la superficie lisa, de forma que la profundidad del agua es muy pequeña en

todos los puntos. Es interesante la comparación con las mareas y los tsunamis en la Tierra.

Contenidos (Física): Fenómenos asociados al campo gravitatorio: mareas.

Criterios de evaluación: Entender el fenómeno de las mareas como resultado de las diferencias de intensidad gravitatoria en dos puntos del mismo planeta.

Estándares de aprendizaje evaluables: Explica cómo se producen las mareas y calcula la gravedad diferencial en dos puntos de un mismo planeta.

Competencias: CMCT

El planeta de Mann (94:30 – 95:40)



La superficie de este otro planeta está formada por multitud de capas de nubes congeladas, y la atmósfera tiene una gran cantidad de amoníaco, haciéndola irrespirable. Aunque no se encuadra dentro de los contenidos de ninguna asignatura concreta, puede ser interesante

preguntarse si es posible que una nube congelada aguante su propio peso, o cómo pueden estar formadas para flotar en el aire. Kip Thorne, asesor científico de la película, decía que en ese punto hay algo de licencia artística, y que la resistencia material del hielo no sería capaz de soportar estas estructuras. También puede ser interesante hablar de la composición de la atmósfera y compararla con la de la Tierra.

Acoplamiento y explosión de la *Endurance* (124:54 – 127:38)



Tras traicionar a los demás, Mann roba un *Ranger* e intenta acoplarse a la *Endurance*. El acoplamiento es incompleto y al abrir la escotilla, se despresuriza la esclusa, propulsando al *Ranger* contra uno de los módulos de la *Endurance* y provocando una colisión explosiva y silenciosa, y una

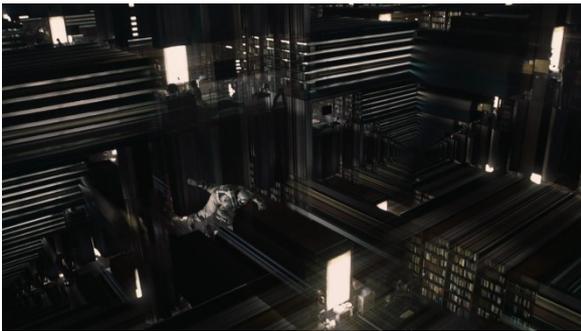
rotación descontrolada de la *Endurance*. Aunque la física de esta escena no se ve en el curso de 2º de Bachillerato sí guarda relación con varios conceptos vistos en cursos anteriores: fuerza y presión de un gas, ley de acción-reacción, momento de una fuerza y momento angular... También es muy llamativa la explosión silenciosa, para hacer ver a los alumnos que el sonido es una onda material y no se propaga por el espacio.

Hacia el planeta de Edmund (134:10 – 137:51)



Cooper y Brand viajan hacia el planeta de Edmund mediante una maniobra de asistencia gravitatoria aprovechando la atracción gravitacional de Gargantúa. Para la propulsión posterior, el robot TARS y Cooper se desprenden de la *Endurance* en dos naves, para soltar lastre, en una escena muy emotiva. Como dice TARS: *¡La tercera ley de Newton! La única forma que conocen los humanos de llegar a alguna parte es dejando algo atrás.* Además de ofrecer a los alumnos una nueva forma de entender las leyes de Newton, los valores y los sentimientos de esta escena son en mi opinión de un gran valor educativo.

El tesseracto (146:45 – 149:44)



Dentro del agujero negro, Cooper y TARS encuentran un espacio artificial, un tesseracto (cubo en 4 dimensiones), un lugar donde el tiempo es otra dimensión espacial y donde la fuerza de la gravedad se puede usar para transmitir información a otros puntos del espacio tiempo, en particular a la habitación de Murph. Aunque esta es la parte más fantástica de la película, puesto que no sabemos qué hay dentro de un agujero negro, tiene una base más o menos científica en la teoría de cuerdas, y se presenta un posible futuro de la física teórica tal y como existe en nuestro mundo. Puede ser muy interesante a nivel divulgativo y para mostrar las teorías más recientes que se están estudiando en el campo de la física. También es una escena muy interesante para debatir a nivel filosófico los viajes en el tiempo, o el futuro de la civilización. Por último, a lo largo de la película esto se presenta como una necesidad experimental (se necesita saber qué ocurre dentro de un agujero negro) para construir una teoría a partir del experimento, lo cual es la base de la física y de la ciencia en general.

ACTIVIDADES

Tras el visionado de la película, el intercambio de opiniones y el comentario de algunas escenas, se proponen algunas actividades posibles para que los alumnos trabajen en casa, por dos motivos: el primero, para no invertir valioso tiempo de clase en la evaluación, y el segundo, porque considero que el trabajo de casa permite una reflexión y un aprendizaje más profundos que los que se pueden llevar a cabo en una clase mediante una hoja de preguntas, así como un mejor desarrollo del sentido de la iniciativa o la competencia para aprender a aprender. Además, al ser los alumnos de 2º de Bachillerato, tienen una mayor autonomía, por lo que se les puede dejar más libertad a la hora de realizar el trabajo, en lugar de guiarles paso a paso mediante preguntas más sencillas.

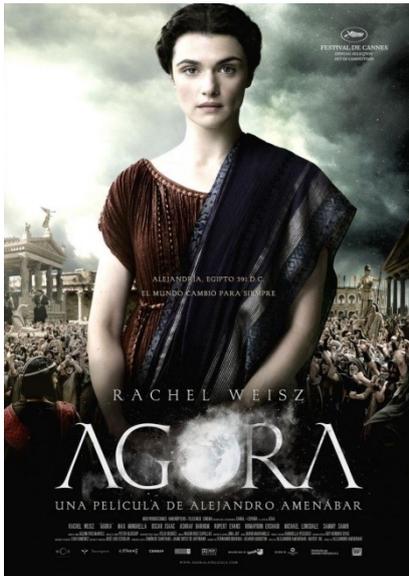
Una primera actividad es la elección de una escena con un contenido físico considerable relacionado con el temario de 2º de Bachillerato, para su análisis detallado e investigación. Por ejemplo, en el lanzamiento del *Ranger* se podría calcular la velocidad de escape, la energía necesaria para llegar a la *Endurance*, la cantidad de combustible necesario... Esto requiere por un lado un dominio de los conceptos de clase y por otro lado un pequeño trabajo de investigación sobre qué masa puede tener un cohete, a qué altura orbita una estación espacial, qué rendimiento energético tiene el combustible de los cohetes...

Una segunda actividad es la búsqueda de información sobre la física de la película, detallando qué escenas son factibles y realistas, cuáles son imposibles o improbables, y de cuáles no podemos emitir un juicio porque no conocemos la física real. De esta forma fomentamos la investigación, el espíritu crítico, y favorecemos una cultura científica general.

Una tercera actividad es un trabajo de investigación a nivel cualitativo sobre algún concepto que aparece en la película, y que no se ha estudiado en clase: agujeros negros y agujeros de gusano, el espacio más allá de las tres dimensiones, las aplicaciones de la mecánica cuántica...

Una cuarta actividad posible es la realización de un ensayo o reflexión personal y subjetivo sobre la película y los elementos narrativos y lo que les ha llamado más la atención: la degradación del medio ambiente y la hambruna, la necesidad que impulsa la exploración espacial, el concepto del amor tal y como se presenta en la película, la línea espacio-temporal de la película, la viabilidad y habitabilidad de otros mundos, las implicaciones sociales de la relatividad, el futuro de la exploración espacial, etc.

4.2. ÁGORA (2009)



Director: Alejandro Amenábar

Productor: Fernando Bovaira

Guión: Alejandro Amenábar, Mateo Gil

Protagonistas: Raquel Weisz, Max Minghella, Oscar Isaac, Ashraf Barhom, Michael Lonsdale, Rupert Evans

Música: Dario Marianelli

Fotografía: Xavi Giménez

País: España

Año: 2009

Duración: 126 min.

Ágora narra la vida de Hipatia, una astrónoma, filósofa y matemática de Alejandría en los años de declive del Imperio Romano y de fortalecimiento del cristianismo, de sus descubrimientos científicos y su trabajo como filósofa y profesora y de los conflictos religiosos y políticos de su época en los que se vio envuelta, así como de las relaciones sociales que tuvo con sus discípulos y su esclavo Davo.

La visualización de *Ágora* se propone como actividad para 4º de ESO, pues no tiene una trama compleja y los elementos científicos que aparecen son sencillos y divulgativos, aunque también se podría emplear en 1º de Bachillerato, pues algunos contenidos (cónicas, sistemas de referencia, leyes de Kepler) se estudian en este curso. Así mismo, en la película aparecen interrelacionados elementos científicos, históricos, religiosos y políticos, por lo que esta actividad puede ser de gran interés para diversas asignaturas, como Física y Química, Cultura Científica o Cultura Clásica. Esta interrelación entre diversas áreas es importante trabajarla especialmente en la ESO (en Bachillerato priman más los contenidos más específicos), pues como se ha apuntado anteriormente en este trabajo, la ciencia necesita un contexto.

Es importante mencionar que el rigor histórico-científico del personaje de Hipatia es un tanto dudoso, pues no se conserva ninguna de las obras de Hipatia, por lo que el hecho de que defendiese el heliocentrismo y apuntase a las órbitas elípticas que Kepler describiría 1200 años más tarde pudo ser real o no. Sin embargo, el resto de elementos históricos en relación a la ciencia (el modelo de Ptolomeo, la hipótesis de Aristarco de Samos...) son bastante acertados.

Además, esta película es bastante adecuada para la educación en valores, puesto que además de los contenidos y conocimientos que se puedan trabajar con ella, aparecen una serie de elementos que pueden servir de modelo a nuestros alumnos o que pueden ser interesantes para comentarlos, tanto en el ámbito científico (la pasión por la ciencia y por el conocimiento del mundo, el uso de la razón como instrumento de la ciencia), como en el ámbito social y ético (la esclavitud en el mundo antiguo, los conflictos religiosos y políticos, el papel de las mujeres en la sociedad y en la ciencia y la comparación entre la sociedad de la película y la sociedad actual).

En el aspecto artístico y técnico, se trata de una película relativamente reciente, bien valorada y ganadora de siete premios Goya. Al tratarse de un drama histórico, es posible que no resulte tan llamativa o tan amena para los alumnos como otras películas que se recogen aquí, aunque las posibilidades que ofrece para una educación multidisciplinar y en valores hacen que merezca la pena su proyección.

A diferencia de otras películas que se recogen en este trabajo, donde en cada escena aparecen conceptos físicos o científicos diferentes entre sí, en esta película se van desarrollando poco a poco los mismos contenidos a lo largo de la misma, de manera que los contenidos, criterios de evaluación, estándares de aprendizaje evaluables y competencias que se pueden trabajar con la película para las diferentes asignaturas se detallan de forma global a continuación.

FÍSICA Y QUÍMICA (4º ESO)

- Contenidos: El método científico y sus etapas (repasso de 3º ESO). Ley de la gravitación universal. El peso de los cuerpos y su caída. El movimiento de planetas y satélites.
- Criterios de evaluación: Reconocer e identificar las características del método científico (3º ESO). Conocer el modelo cosmológico clásico y valorar la relevancia histórica y científica que supuso la ley de la gravitación universal para la unificación de las mecánicas celeste y terrestre clásicas. Comprender que la caída libre de los cuerpos y el movimiento orbital son dos manifestaciones de la ley de la gravitación universal.
- Estándares de aprendizaje evaluables: Formula hipótesis para explicar fenómenos cotidianos utilizando teorías y modelos científicos (3º ESO). Conoce y comprende la diferencia entre el modelo de Universo geocéntrico, heliocéntrico y actual. Razona el motivo por el que las fuerzas gravitatorias producen en algunos casos movimientos de caída libre y en otros casos movimientos orbitales.
- Competencias: CMCT, CPAA, CEC, CCL

CULTURA CIENTÍFICA (4º ESO)

- Contenidos: Implicaciones de la ciencia en la sociedad. Descubrimientos significativos que han contribuido al progreso de la ciencia a lo largo de la historia. Descubrimientos más significativos en relación con nuestro conocimiento actual del Universo.
- Criterios de evaluación: Valorar la importancia de la investigación y del desarrollo científico en la sociedad y la actividad cotidiana. Conocer los hechos históricos más relevantes en el estudio del Universo.
- Estándares de aprendizaje evaluables: Analiza el papel que tiene la investigación científica como motor de nuestra sociedad y su importancia a lo largo de la historia. Señala los acontecimientos científicos que han sido fundamentales para el conocimiento actual que se tiene del Universo.
- Competencias: CMCT, CPAA, CEC, CCL

CULTURA CLÁSICA (4º ESO)

- Contenidos: Marco geográfico e histórico de las civilizaciones griega y romana.
- Criterios de evaluación: Identificar, describir y explicar el marco histórico y geográfico en los que se desarrollan las civilizaciones griega y romana.
- Estándares de aprendizaje evaluables: Sabe enmarcar determinados hechos históricos (en particular los de la película) en la civilización, periodo histórico y marco geográfico correspondientes, poniéndolos con contexto y relacionándolos con otras circunstancias contemporáneas.
- Competencias: CEC, CCL

SELECCIÓN DE ESCENAS

Geocentrismo (1:09 – 3:21)



Hipatia habla con sus discípulos sobre el mundo, el cosmos, y por qué las cosas caen hacia el suelo en la Tierra, sujetadas y atraídas por el centro del cosmos, mientras que en el cielo, donde reina la perfección, las estrellas no caen sino que siguen una trayectoria perfecta, un círculo.

Además de darnos una idea bastante acertada de la cosmología aristotélica, con un mundo sublunar, imperfecto, donde los cuerpos siguen trayectorias rectas y uno

supralunar, perfecto e inmutable, donde los astros siguen trayectorias circulares, también se puede hablar de cómo eran las clases que impartían los filósofos, o del concepto que tenían de los esclavos a raíz de la frase de Hipatia, *¿Qué misterioso prodigio se esconde bajo el suelo para que todas las personas, animales, objetos y esclavos estén sobre él?*

Tensión entre religiones (6:36 – 8:40)



Dos oradores, un cristiano y un pagano, se enzarzan en una discusión poco pacífica sobre qué religión es la verdadera. En esta época, los asaltos, ataques, palizas e incluso asesinatos por motivos religiosos están a la orden del día. Es una buena excusa para hablar de la convivencia de religiones que existía en Alejandría (cristianos, paganos y judíos) y que seguirá apareciendo a lo largo de toda la película, así como de la religión politeísta de los paganos y sus similitudes con la religión de la antigua Grecia y Roma, estudiada en Cultura Clásica. Por último es interesante comparar cómo se vivía la religión en aquella época y en la actualidad, y cuánto hemos avanzado en ese aspecto, o cuánto nos puede quedar por avanzar.

El sistema de Ptolomeo (11:26 – 14:30)



Mediante un ingenioso aparato, Davo explica a los discípulos de Hipatia el sistema de Ptolomeo, el cual para explicar los movimientos de las errantes (los planetas entonces conocidos, que siguen movimientos no perfectamente circulares) supone que se mueven siguiendo dos círculos (la figura perfecta), uno mayor alrededor de la Tierra y otro menor. Un discípulo, Orestes, cuestiona este hecho, le parece caprichoso que haya dos círculos, y dice que uno solo sería más perfecto. Esta es la base del avance científico, preguntarse el porqué, la búsqueda de la verdad.

La petición de Orestes (21:40 – 25:00)



Orestes le pide la mano a Hipatia, a lo que ésta se negará más tarde de una forma un tanto particular. Más que la escena en sí, puede ser interesante para hablar del papel de las mujeres en la Antigüedad, que carecían de derechos políticos y estaban sometidas al control de su

marido, y aunque tenían derecho a la educación, muy pocas llegaron a destacar como filósofas o personalidades importantes. También es interesante una comparación en este aspecto entre la sociedad de la película y la actual en diversas partes del mundo, y el posible camino futuro a seguir.

El modelo heliocéntrico (39:43 – 42:26)



Tras reflexionar sobre la crítica de Orestes al modelo de Ptolomeo, Hipatia se pregunta, *¿y si hubiera una explicación más sencilla para las errantes?* Alguien comenta que Aristarco (de Samos) propuso hacía tiempo un modelo heliocéntrico, pero que no tenía pies ni

cabeza porque si la Tierra se moviese alrededor del Sol, los objetos caerían detrás de nosotros y siempre soplaría el viento del mismo lado. De nuevo aparece en esta escena el espíritu del pensamiento científico y las fases del método científico: la observación y reflexión, el planteamiento de hipótesis (heliocentrismo) y la deducción de las consecuencias de estas hipótesis. La contrastación experimental se verá en una escena posterior. También aparece en esta escena el valor del conocimiento científico, y la necesidad de proteger la biblioteca de Alejandría, *lo último que queda del saber de los hombres.*

La destrucción de la biblioteca (50:47 – 52:17)



Tras un ataque de los paganos a los cristianos, por edicto del Emperador se les permite a los cristianos entrar en la biblioteca y disponer de ella como quieran, lo que tristemente resulta en la destrucción de la biblioteca y de todas las obras que los paganos no se pudieron

llevar consigo. Es una escena triste, pero que nos recuerda que el saber, el arte y la cultura son parte de lo que nos hace un pueblo, una nación o una civilización, y que debemos hacer lo posible por preservarlos.

Caída libre en un sistema inercial (60:35 – 62:47)



Para refutar las posibles consecuencias de que la Tierra se mueva (que los objetos no caerían en línea recta), Hipatia lleva a cabo un sencillo experimento, consistente en dejar caer un saco en un barco en movimiento con velocidad constante. Aquí se observa el siguiente paso del

método científico, la experimentación. También puede aprovecharse esta escena para hablar a nivel cualitativo de composición de movimientos, de sistemas de referencia inerciales y no inerciales y de cómo las leyes de la física son iguales en cualquier sistema inercial (se recoge en el currículo de Física y Química de 1º de Bachillerato).

La forma de la Tierra (63:52 – 64:51)



Unos cristianos discuten sobre la forma de la Tierra, sobre si es plana o redonda, acabando la discusión con Davo diciendo que *sólo Dios lo sabe*. Es interesante comparar la forma de pensar fundamentalista con la científica (cabe destacar que Eratóstenes ya había medido

el radio de la Tierra 500 años antes con bastante precisión.

El Sol cambia de tamaño (64:52 – 66:45)



Hipatia se pregunta *por qué el Sol cambia de tamaño del verano al invierno* y se plantea una posible solución, desplazando al Sol del centro. De nuevo en esta escena se ven las fases de observación y formulación de hipótesis del método científico. A pesar de la posible licencia

artística, es interesante el planteamiento de la película pues da una visión filosófica, reflexiva, sobre algo que tardó más de 1000 años en poder ser comprobado experimentalmente.

El cono de Apolonio (75:40 – 76:16)



Hipatia tiene un curioso artilugio para enseñarles a sus alumnos las cuatro curvas cónicas, obtenidas como la sección de una superficie cónica por un plano inclinado. Aunque el estudio de las cónicas se recoge en el currículo de Matemáticas de 1º de Bachillerato, esta escena puede

servir para adelantar a los alumnos el concepto y algunas propiedades fundamentales de estas curvas.

Órbitas elípticas (96:53 – 100:10)



Hipatia encuentra una posible explicación al hecho de que el sol cambie de tamaño a lo largo del año, desechando el movimiento en círculos, e introduciendo una órbita elíptica. Aparece la propiedad fundamental de la elipse (la suma de distancias a los focos es constante), y de

nuevo el planteamiento de hipótesis como parte del método científico. Esta escena es muy útil para introducir las leyes que Kepler enunció más de 1000 años después, que se estudian en 1º de Bachillerato.

ACTIVIDADES

Tras el visionado de la película y el comentario o debate sobre algunas escenas de la misma, se propone como trabajo posterior una ficha de actividades para que los alumnos completen en clase o, preferiblemente, en casa, puesto que así es posible fomentar la búsqueda de información por parte de los alumnos. Es conveniente que las preguntas sean relativamente cortas y sencillas, aunque esto no es un impedimento para incluir preguntas que fomenten la reflexión, la investigación, la formación de opiniones razonadas o la expresión escrita. Un ejemplo de preguntas o actividades que se podrían incluir en la ficha son:

- ¿Qué es lo que más te ha gustado de la película? ¿Y lo que menos? ¿Por qué?
- ¿Qué temas trata la película? ¿Cuál de ellos te parece más interesante?
- ¿Dónde tiene lugar la historia de la película? ¿En qué contexto histórico se encuadra?
- Cita algunos elementos de las civilizaciones griega y romana que hayas estudiado y que aparezcan en la película.
- En la película tiene lugar una fuerte tensión, sangrienta en ocasiones, entre varias religiones. ¿Cuáles son? ¿Crees que hemos avanzado en este aspecto?
- Además de Hipatia, ¿conoces alguna otra mujer científica o filósofa? ¿Quién?
- ¿En qué consiste el modelo geocéntrico? ¿Qué son los epiciclos?
- ¿Crees que la hipótesis del modelo geocéntrico tenía sentido en aquella época, cuando la mayoría de las personas no disponían de conocimientos científicos o filosóficos? ¿Y hoy en día? ¿Y la hipótesis de que la Tierra es plana?
- ¿En qué consiste el modelo heliocéntrico? ¿Quién lo propuso por primera vez? ¿Quién reformuló este modelo de manera científica y precisa en el siglo XVI?
- ¿Cuáles son las curvas cónicas? ¿Conoces algún ejemplo en la vida real de curvas cónicas (aparte del círculo)?
- En la película se apunta a que Hipatia aventuró la forma elíptica de las órbitas de los planetas. ¿Quién demostró esto 1200 años después?
- ¿Crees que el conocimiento del Universo y de cómo funciona es de importancia para una civilización? Razona tu respuesta.

4.3. SELECCIÓN DE ESCENAS DIVERSAS

Ya hemos visto dos ejemplos de películas con gran utilidad didáctica para la enseñanza de la física y de las ciencias en general, así como para una educación que vaya más allá de los contenidos puramente científicos, mostrando el contexto histórico y social de la ciencia, la relación con otras áreas del conocimiento y algunos valores éticos, morales y sociales. Sin embargo, a veces es más adecuado para la enseñanza de contenidos concretos la proyección de escenas sueltas, ya sea por falta de tiempo o de recursos o porque en estas escenas sueltas tenemos más libertad a la hora de escoger aquella escena que muestre la física tal y como la queremos enseñar.

A este respecto se recopilan aquí una serie de fragmentos de diversas películas en los que aparecen diferentes fenómenos físicos recogidos en el currículo de la asignatura de Física y Química (o Física en 2º de Bachillerato) en los diferentes cursos de la educación secundaria. No es la intención de este trabajo hacer una recopilación exhaustiva de escenas que traten sobre cada uno de los contenidos del currículo, sino plantear algunos ejemplos de escenas que me parecen interesantes por diversos motivos y proponer algunos ejemplos de actividades para trabajar con los alumnos a partir de estas escenas.

PASSENGERS (2016). CONSERVACIÓN DEL MOMENTO LINEAL



(95:32 – 96:31)

Tras ser proyectado al vacío por un chorro de aire caliente (del que se protegía con un escudo), el protagonista se encuentra sin control alguno sobre sus movimientos, dirigido de manera inevitable al reactor de su nave. Haciendo gala de su ingenio, consigue frenar su imparable avance lanzando el escudo que llevaba contra el reactor y propulsándose así hacia atrás.

Se ha elegido esta escena por varios motivos. En primer lugar, porque la película es reciente, tiene buenos efectos especiales, una trama interesante con buenas dosis de humor y amor y está protagonizada por dos actores muy conocidos entre los jóvenes (Chris Pratt y Jennifer Lawrence), por lo que es probable que les llame la atención o que la hayan visto ya. En segundo lugar, porque donde mejor se observa la conservación del momento lineal es en el espacio, donde no hay fuerzas externas, y

porque la escena es un problema simple de dos cuerpos (el astronauta y su escudo), y no hay otros factores que aumenten la complejidad (como en un sistema de propulsión) o dificulten el entendimiento del fenómeno físico.

FÍSICA Y QUÍMICA (1º BACHILLERATO)

- Contenidos: Leyes de Newton. Momento lineal. Variación. Conservación del momento lineal e impulso mecánico.
- Criterios de evaluación: Aplicar el principio de conservación del momento lineal a sistemas de dos cuerpos y predecir el movimiento de los mismos a partir de las condiciones iniciales.
- Estándares de aprendizaje evaluables: Establece la relación entre impulso mecánico y momento lineal aplicando la segunda ley de Newton. Explica el movimiento de dos cuerpos en casos prácticos como colisiones y sistemas de propulsión mediante el principio de conservación del momento lineal.
- Competencias: CMCT, CPAA

ACTIVIDADES

Se puede pausar la escena a la mitad (antes de que arroje el escudo) para explicar como se cumple la 1ª Ley de Newton y para preguntar a los alumnos qué harían en su lugar. Tras esta breve reflexión, se terminaría de reproducir la escena para después discutir qué ha pasado, y cómo se puede relacionar lo que han visto en la escena con lo que han estudiado en clase. Finalmente, se puede hacer un problema asignando datos realistas para las masas y velocidad inicial del astronauta y del escudo, para que los alumnos calculen, por ejemplo, la velocidad final del escudo para que el astronauta se frene, el impulso que tiene que realizar el astronauta sobre el escudo, o razonen que la fuerza que frena al astronauta es una fuerza de reacción. También se puede discutir si los resultados que salen son realistas, comparándolos con experiencias que tengan los alumnos como el lanzamiento de balones medicinales en educación física.

TITANIC (1997). FLOTABILIDAD



(159:30 – 160:36)

En esta conocida y controvertida escena, dos de los supervivientes del naufragio del Titanic, Jack y Rose, intentan salvarse subiéndose a un trozo de madera flotante, pero ven que es inviable y Jack decide no

subirse y sacrificar su vida para salvar la de Rose.

El principal motivo por el que se ha elegido esta escena es porque fue usada durante las prácticas del máster para hablar de flotabilidad con los alumnos de 4º de ESO. Aunque no se pudo realizar la proyección por motivos técnicos, la mayoría de los alumnos conocían la escena, ya que la película, pese a su antigüedad, fue un gran éxito (de taquilla y de premios) e incluso hoy es muy popular, y ya que la escena propiamente dicha ha sido muy controvertida y discutida porque, aparentemente, podían haberse salvado los dos protagonistas. Esta popularidad es el segundo de los motivos por los que se ha elegido esta escena: al ser conocida y formar parte de la cultura popular, los alumnos pueden verla como algo más cercano a ellos.

FÍSICA Y QUÍMICA (4º ESO)

- Contenidos: Principio de Arquímedes. Flotabilidad de objetos.
- Criterios de evaluación: Interpretar fenómenos naturales y aplicaciones tecnológicas en relación con los principios de la hidrostática, y resolver problemas aplicando las expresiones matemáticas de los mismos.
- Estándares de aprendizaje evaluables: Predice la mayor o menor flotabilidad de objetos utilizando la expresión matemática del principio de Arquímedes.
- Competencias: CMCT, CPAA, CSC

ACTIVIDADES

Para introducir la actividad se puede hablar de la película y de la historia del Titanic brevemente, para después discutir por qué flotan los barcos, o por qué flotan los icebergs. A partir de los datos de la densidad del agua de mar y del hielo, se puede hacer algún problema cuantitativo sobre flotabilidad de un iceberg, calculando qué parte del mismo emerge del agua, y relacionándolo con la peligrosidad de los mismos (la mayor parte está sumergida y no se ve hasta donde puede llegar).

Tras la visualización de la escena, se puede debatir por qué no se pueden subir los dos protagonistas a la tabla de madera, pese a que ésta es lo suficientemente grande

para que quepan los dos. Para apoyar la discusión, es interesante asignar valores aproximados a las dimensiones de la tabla y la densidad de la madera para calcular el peso máximo de una persona sobre la tabla para que no se moje (y sufra hipotermia).

EL SEÑOR DE LOS ANILLOS: EL RETORNO DEL REY (2003). TIRO PARABÓLICO



(120:55 – 123:11)

Durante el asedio de Minas Tirith por parte de los orcos, tiene lugar un intercambio de lanzamientos de piedras mediante catapultas desde el bando de los orcos y mediante fundíbulos desde la

ciudad.

Ganadora de 11 premios Óscar, y paradigma del cine épico, esta película no podía quedar fuera de este recopilatorio. Al igual que *Titanic*, su popularidad hace que los alumnos puedan verla como algo cercano (pese a su temática fantástica) y atractivo. Además, el uso de armas de distancia y de asedio como se ve en la escena constituye un excelente ejemplo de tiro parabólico, y puede usarse también para estudiar las energías cinética y potencial de los proyectiles y las armas de asedio.

FÍSICA Y QUÍMICA (1º BACHILLERATO)

- Contenidos: Composición de los movimientos rectilíneo uniforme y rectilíneo uniformemente acelerado. Ejemplos: tiro vertical, tiro oblicuo. Formas de energía. Transformación de la energía. Principio de conservación de la energía mecánica
- Criterios de evaluación: Identificar el movimiento no circular de un móvil en un plano como la composición de dos movimientos unidimensionales rectilíneo uniforme (M.R.U.) y rectilíneo uniformemente acelerado (M.R.U.A.). Establecer la ley de conservación de la energía mecánica y aplicarla a la resolución de casos prácticos.
- Estándares de aprendizaje evaluables: Reconoce movimientos compuestos, establece las ecuaciones que lo describen, calcula el valor de magnitudes tales como alcance y altura máxima, así como valores instantáneos de posición, velocidad y aceleración. Resuelve problemas relativos a la composición de movimientos descomponiéndolos en dos movimientos rectilíneos. Aplica el principio de conservación de la energía para resolver problemas mecánicos,

determinando valores de velocidad y posición, así como de energía cinética y potencial.

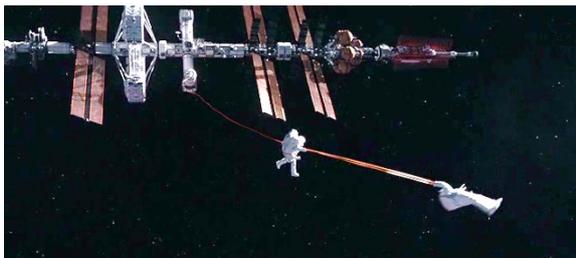
- Competencias: CMCT, CPAA

ACTIVIDADES

En primer lugar, la escena nos puede servir de ejemplo para proponer un problema de tiro parabólico. A partir de estimaciones de la altura de la muralla, de la distancia horizontal hasta la fila de los orcos y del ángulo de lanzamiento de los proyectiles, se puede calcular la velocidad inicial necesaria de los proyectiles para alcanzar su objetivo. Se puede comparar la velocidad necesaria para alcanzar lo alto de las murallas desde abajo, y las filas de los orcos desde arriba, discutiendo los resultados.

Así mismo, se puede hablar de cómo funcionan las armas de asedio. Las catapultas de los orcos utilizan la tensión de una cuerda (energía potencial elástica) para aportarle la energía necesaria al proyectil, mientras que los fundíbulos de la ciudad utilizan la energía potencial gravitatoria de un contrapeso. Suponiendo que la energía se conserva en ambos casos (y se transforma íntegramente en energía cinética del proyectil), se pueden proponer también problemas para calcular la constante elástica de las cuerdas de las catapultas, o la masa de los contrapesos de los fundíbulos, por ejemplo.

MARTE (2015). MOVIMIENTO CIRCULAR Y MOMENTO ANGULAR



(127:00 – 129:30)

En la misión de rescate de Mark, éste tiene que propulsarse en el espacio de manera rudimentaria (como *Iron Man*) hasta llegar a Melissa, que lo está esperando. No consiguen agarrarse bien y quedan

agarrados a una cinta, rotando el uno alrededor del otro. Simplemente tirando de la cinta consiguen llegar a estar juntos sin aumentar su velocidad de rotación, violando el principio de conservación del momento angular.

Se ha elegido esta escena para mostrar un ejemplo de violación de las leyes físicas en el cine, de forma que los alumnos puedan reflexionar si hay algo que les llama la atención y así desarrollar su espíritu crítico. Por otro lado, y aunque esta escena sea un pequeño *spoiler* del final, es una forma de promocionar esta película para aquellos alumnos que estén interesados, pues, al margen de unas pocas incorrecciones

científicas, el resto de la película está bien organizada, tiene algunos conceptos científicos (físicos, químicos y botánicos) brillantes y un buen sentido del humor.

FÍSICA Y QUÍMICA (1º BACHILLERATO)

- Contenidos: Dinámica del movimiento circular uniforme. Fuerza centrípeta. Fuerzas centrales. Momento de una fuerza y momento angular. Conservación del momento angular.
- Criterios de evaluación: Justificar la necesidad de que existan fuerzas para que se produzca un movimiento circular. Asociar el movimiento circular con la actuación de fuerzas centrales y con la conservación del momento angular.
- Estándares de aprendizaje evaluables: Aplica el concepto de fuerza centrípeta para resolver e interpretar casos de móviles en curvas y trayectorias circulares. Aplica la ley de conservación del momento angular en un móvil en movimiento circular, relacionando el radio con la velocidad lineal y la velocidad angular.
- Competencias: CMCT, CPAA

ACTIVIDADES

Tras la visualización de la escena, se puede preguntar a los alumnos si hay algo que les haya llamado la atención (aparte de la propulsión *a lo Iron Man*), e ir guiándoles hasta el movimiento circular de los dos astronautas a medida que se acercan el uno al otro. En primer lugar, se puede hablar de la naturaleza de la fuerza centrípeta (es la tensión de la cuerda, la fuerza que ejercen los astronautas para agarrarse) y de cómo es necesaria esta fuerza para que se produzca un movimiento circular. También se puede calcular esta fuerza centrípeta a partir de estimaciones de la masa de cada astronauta, la distancia entre los astronautas (el diámetro de la trayectoria) y la velocidad angular de rotación.

En segundo lugar, se puede comparar la escena con un movimiento circular de un objeto atado a una cuerda: cuando se hace girar y la cuerda se va enrollando alrededor de un dedo, la velocidad angular aumenta considerablemente. De igual forma, a medida que los astronautas se acercan el uno hacia el otro la velocidad angular tendría que aumentar: al reducirse el radio a la mitad, la velocidad angular se cuadruplicaría, y la fuerza centrípeta que tendrían que hacer los astronautas para agarrarse se multiplicaría por ocho. Puesto que esto es inviable, se puede discutir qué podrían hacer los astronautas para acercarse sin violar las leyes de la física; Melissa podría haber usado su mochila propulsora (o Mark su propulsión *manual*) para frenar

su velocidad, es decir, para ejercer un momento de una fuerza que disminuyese el momento angular antes de intentar juntarse.

ICE AGE 4: LA FORMACIÓN DE LOS CONTINENTES (2012). PRESIÓN HIDROSTÁTICA.



(22:33 – 24:02)

Scrat, la cómica ardilla prehistórica de la saga Ice Age, en su incansable búsqueda de bellotas, divisa una en el fondo del mar, y se lanza con una piedra para hundirse y llegar a ella. A medida que va alcanzando profundidades mayores, la presión comprime su cuerpo hasta quedar casi con forma de espagueti.

Se ha elegido esta escena principalmente por su toque cómico, que puede ayudarnos a captar mejor la atención de los alumnos, y para mostrar que en las películas de animación también se pueden encontrar recursos para enseñar física. Aunque los efectos de la elevada presión no producirían en la vida real una deformación tan drástica del cuerpo, esta escena es muy útil para mostrar que la presión aumenta con la profundidad, o para hablar de los peligros del submarinismo.

FÍSICA Y QUÍMICA (4º ESO)

- Contenidos: Presión. Aplicaciones. Principio fundamental de la hidrostática.
- Criterios de evaluación: Interpretar fenómenos naturales y aplicaciones tecnológicas en relación con los principios de la hidrostática, y resolver problemas aplicando las expresiones matemáticas de los mismos.
- Estándares de aprendizaje evaluables: Justifica razonadamente fenómenos en los que se ponga de manifiesto la relación entre la presión y la profundidad en el seno de la hidrosfera y la atmósfera. Resuelve problemas relacionados con la presión en el interior de un fluido aplicando el principio fundamental de la hidrostática.
- Competencias: CMCT, CPAA

ACTIVIDADES

Tras la visualización de la escena se puede comentar qué le ocurre al cuerpo de Scrat a medida que baja, relacionándolo con el concepto de presión y calculando la presión cuando llega al fondo, estimando la profundidad del mismo. Se puede

comparar esta presión con valores cotidianos: la presión de un neumático o la que ejercemos nosotros sobre el suelo. También se puede, si se ha visto en clase el principio de Arquímedes, discutir por qué Scrat se agarra a una piedra para llegar al fondo del mar. Por último, se puede hablar a nivel divulgativo de cuál es la profundidad máxima a la que llegan los submarinistas, o por qué es peligroso bajar de dicha profundidad.

GRAVITY (2013). SATÉLITES Y VELOCIDAD ORBITAL



(9:50 – 13:10)

Durante una misión de reparación del telescopio espacial Hubble, los astronautas se encuentran con un problema: una nube de chatarra espacial que impacta contra ellos a velocidades vertiginosas.

Se ha elegido esta escena por representar de manera bastante fiel un problema muy real, el denominado síndrome de Kessler, por el cual una reacción en cascada podría generar una gran cantidad de chatarra espacial y dejar inutilizados los satélites en la órbita baja. Puesto que la ley (orden EDU/363/2015) nos indica que los diversos tipos de satélites se han de estudiar con aplicaciones virtuales interactivas, podemos usar esta escena como complemento para hablar de los diversos satélites artificiales de la Tierra, y también podemos aprovechar esta escena para hablar de la velocidad orbital de los fragmentos, o del periodo de revolución de los satélites. Por otro lado, la calidad artística de la película es excepcional y el detalle técnico con el que se representan las estaciones y la vida en el espacio es muy bueno, aunque en varias escenas el realismo científico queda un tanto en entredicho.

FÍSICA (2º BACHILLERATO)

- Contenidos: Relación entre energía y movimiento orbital. Satélites artificiales: satélites de órbita media (MEO), órbita baja (LEO) y de órbita geoestacionaria (GEO).
- Criterios de evaluación: Relacionar el movimiento orbital de un cuerpo con el radio de la órbita y la masa generadora del campo. Conocer la importancia de los satélites artificiales de comunicaciones, GPS y meteorológicos y las características de sus órbitas a partir de aplicaciones virtuales interactivas.

- Estándares de aprendizaje evaluables: Deduce a partir de la ley fundamental de la dinámica la velocidad orbital de un cuerpo, y la relaciona con el radio de la órbita y la masa del cuerpo. Utiliza aplicaciones virtuales interactivas para el estudio de satélites de órbita media (MEO), órbita baja (LEO) y de órbita geoestacionaria (GEO) extrayendo conclusiones.
- Competencias: CMCT, CPAA, CD

ACTIVIDADES

Tras la visualización de la escena se puede hablar de qué en qué tipo de órbita está el telescopio Hubble (órbita baja) y sobre qué más satélites están en esta órbita (ISS, satélites meteorológicos, algunos satélites de comunicaciones...). Así mismo se puede hablar sobre la frase de Matt, *media Norteamérica acaba de quedarse sin Facebook*, y discutir su veracidad (aunque es cierto que hay algunos satélites de Internet en la órbita baja, también hay otros en la órbita media y geoestacionaria, y sobre todo, la inmensa mayoría de las comunicaciones por Internet se realizan por cable o fibra óptica). También es posible intentar concienciar a los alumnos sobre un problema que puede agravarse mucho en los próximos años y sus posibles implicaciones para nosotros, el síndrome de Kessler o ablación en cascada.

Posteriormente, se puede realizar un problema cuantitativo, con datos reales de la masa y el radio de la Tierra y la altura del Hubble sobre la superficie, para calcular la velocidad orbital del Hubble (y de los fragmentos), o el periodo orbital del mismo, y compararlo con el dato que dan en la película de 90 minutos.

5. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha estudiado un recurso audiovisual, el cine, como instrumento de apoyo en la enseñanza, y particularmente en la enseñanza de la física. Como se ha visto, el cine es concebido por el público general y por los alumnos en particular como un espejo de la realidad, por lo que nos puede servir como elemento de ejemplificación y concreción de diversos conceptos físicos. Al mismo tiempo, el cine presenta estos conceptos físicos no aislados, sino en un contexto histórico y social, y relacionados con otras ramas del conocimiento o con sus consecuencias morales o aplicaciones tecnológicas. Y por último, y quizás más importante, el cine es un elemento de motivación y atracción de los alumnos hacia el aprendizaje. Por todos estos motivos el cine puede sernos de ayuda a la hora de educar a nuestros alumnos, tanto en el campo de la física y de las ciencias como en valores sociales y éticos, fomentando también el espíritu crítico, la observación y reflexión, la curiosidad por investigar y por aprender, etc. En definitiva, el cine es un recurso que puede ayudarnos en el camino de la educación integral de nuestros alumnos.

Para implementar el uso del cine en el aula, se han propuesto dos métodos, consistentes respectivamente en el uso de fragmentos o escenas sueltas, y en la proyección de películas completas. El primero de estos métodos responde a la necesidad de concretar o ejemplificar un concepto físico para su mejor comprensión por parte de los alumnos, mientras que el segundo permite un aprendizaje más profundo y global, aunque también requiere más tiempo, tanto de preparación como de clase. Para cada uno de estos métodos se ha propuesto una pequeña guía para planificar las actividades de preparación y selección de la película o escena, de visualización y de trabajo posterior con los alumnos.

Por último se han propuesto algunos ejemplos de películas (*Interstellar* y *Ágora*) y escenas independientes que se han considerado de interés didáctico para llevar a la práctica estos dos métodos en diferentes cursos de la Educación Secundaria Obligatoria y del Bachillerato, detallando para cada una de estas películas o escenas los motivos por los que nos pueden ser de utilidad en la práctica docente, los contenidos y conceptos de interés, o las actividades que se pueden realizar a partir de las mismas.

A modo de reflexión personal final, a lo largo de la elaboración de este trabajo he aprendido mucho, sobre el uso del cine en la educación, sobre algunos detalles técnicos del cine, sobre la física de *Interstellar* o sobre la sociedad de *Ágora*, pero

sobre todo he disfrutado, viendo las películas, analizando las escenas, relacionándolas con la física y descubriendo detalles nuevos cada vez. Porque el cine, al igual que la música, o que un cuadro o una escultura o un paisaje despierta en nosotros sensaciones y emociones positivas y singulares, que hacen que sea intrínsecamente cautivador. Y ¿qué mejor manera de aprender hay que disfrutando del aprendizaje? ¿Qué mejor manera de enseñar hay que motivando a nuestros alumnos e intentando que sean ellos mismos los que quieran aprender, no para sacar buenas notas sino por el placer de hacerlo? A este respecto, efectivamente, el cine puede ayudar a que aprender sea una experiencia apasionante.

BIBLIOGRAFÍA

- Ambròs, A., & Breu, R. (2007). *Cine y educación: el cine en el aula de primaria y secundaria*. Barcelona: Graó.
- Amengual, A. (2005). *Hablando de física a la salida del cine*. Palma de Mallorca: Edicions UIB.
- Arroio, A. (2010). Context based learning: A role for cinema in science education. *Science Education International*, vol. 21, no. 3, pp. 131-143.
- Arroio, A. (2011). Cinema as narrative to teach nature of science in science education. *Western Anatolia Journal of Educational Science*.
- Bacas, P., Martín, M. J., Perera, F., & Pizarro, A. (1993). *Física y ciencia ficción*. Madrid: Akal.
- Breu, R. (2012). *La historia a través del cine: 10 propuestas didácticas para secundaria y bachillerato*. Barcelona: Graó.
- Calvo, E. (2015). Física y artes, un contexto interdisciplinar. *International Journal of Educational Research and Innovation*, 3, 134-142.
- Efthimiou, C. J., & Llewellyn, R. A. (2004). Cinema as a tool for science literacy. *arXiv preprint physics/0404078*.
- García-Borrás, F. J. (2006). Cuando los mundos chocan. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 3(2), pp. 268-286.
- García-Sánchez, J. E. (2002). El cine en la docencia de las enfermedades infecciosas y la microbiología clínica. *Enfermedades infecciosas y microbiología clínica*, vol. 20, no. 8, pp. 403-406.
- Guo, P. J., Kim, J., & Rubin, R. (2014). How video production affects student engagement: An empirical study of MOOC videos. *Proceedings of the first ACM conference on learning @ scale conference*, pp. 41-50.
- Holbrook, J. (2010). Education through science as a motivational innovation for science education for all. *Science Education International*, vol. 21, no. 2, pp. 80-91.
- Lemke, J. L. (2001). Articulating communities: Sociocultural perspectives on Science Education. *Journal of Research in Science Teaching*, vol. 38, no. 3, pp. 296-316.
- Ley 21/2014, de 4 de noviembre, por la que se modifica el texto refundido de la Ley de Propiedad Intelectual, aprobado por Real Decreto Legislativo 1/1996, de 12 de abril, y la Ley 1/2000, de 7 de enero, de Enjuiciamiento Civil. *Boletín Oficial del Estado núm. 268, de 5 de noviembre de 2014, p. 90404*.
- Orden ECD/65/2015, de 21 de enero, por la que se describen las relaciones entre competencias, los contenidos y los criterios de evaluación de la educación primaria, la educación secundaria

- obligatoria y el bachillerato. *Boletín Oficial del Estado* núm. 25, de 29 de enero de 2015, p. 6986.
- Orden EDU/362/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo de la educación secundaria obligatoria en la Comunidad de Castilla y León. *Boletín Oficial de Castilla y León* núm. 86, de 8 de mayo de 2015, p. 32051.
- Orden EDU/363/2015, de 4 de mayo, por la que se establece el currículo y se regula la implantación, evaluación y desarrollo del bachillerato en la Comunidad de Castilla y León. *Boletín Oficial de Castilla y León*, núm. 86, de 8 de mayo de 2015, p. 32481.
- Palacios, S. L. (2007). El cine y la literatura de ciencia ficción como herramientas didácticas en la enseñanza de la física: una experiencia en el aula. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 4(1), pp. 106-122.
- Pérez-Parejo, R. (2010). Cine y educación: explotación didáctica y algunas experiencias educativas.
- Pinto, G., Prolongo, M. L., & Alonso, J. V. (2017). Química y física de algunos efectos especiales en cinematografía: Una propuesta educativa y para la divulgación. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 14(2), 427-441.
- Quirantes, A. (2011). Física de Película: una herramienta docente para la enseñanza de Física universitaria usando fragmentos de películas. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 8 (3), 334-340.
- 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* núm. 3, de 3 de enero de 2015, p. 169.
- Sáez, C. H. (2013). Derecho y cine del genocidio: 7 títulos contemporáneos (2001-2011) para la docencia presencial del derecho penal e internacional público. *Revista Jurídica de Investigación e Innovación Educativa*, no. 8, pp. 99-116.
- Sánchez-Mellado, L. (16 de agosto de 2007). Jaime Rosales. Filmando contracorriente. *El País*.