

El uso del cine de ciencia ficción para el planteo de problemas abiertos y como investigación

Jorge A. Shitu^{1,2} - Omar G. Benvenuto³

¹Departamento de Ciencias Exactas, Naturales e Ingeniería,
Sede Andina, Universidad Nacional de Río Negro, Argentina

²Extensión Áulica de la Universidad Tecnológica Nacional
San Carlos de Bariloche, Río Negro, Argentina
jshitu@unrn.edu.ar

³Facultad de Ciencias Astronómicas y Geofísicas,
Universidad Nacional de La Plata, Argentina
obenvenu@fcaglp.fcaglp.unlp.edu.ar

Presentamos en este artículo la fundamentación del uso de películas de Ciencia Ficción para el aprendizaje de los conceptos y leyes de la Física dirigida a los dos primeros años de carreras de Ingeniería, Ciencias y Profesorado en Ciencias, en base a una recopilación de una extensa cantidad de investigaciones en Didáctica de las Ciencias Naturales y algunas relacionadas específicamente con propuestas similares, en especial, atendiendo al encuadre propuesto en el modelo MACCS (Modelo de Aprendizaje Cognitivo Consciente Sustentable). Para ello, se analizan algunos de los errores conceptuales que se pueden observar en las muy conocidas películas Armageddon e Impacto Profundo. Se presentan algunas líneas generales para la elaboración de una propuesta didáctica.

Palabras clave: Didáctica, Aprendizaje Significativo, Mecánica, Problemas, Física Universitaria

We present a didactic basis for using Science Fiction films to learn physical concepts and laws, appropriate for the first two years courses of Engineering, Sciences and Sciences Teacher students. We base our analysis on an extensive search of the literature available on the didactic of science, especially considering the framework proposed in MACCS (Sustainable Cognitive Model of Conscientious Learning). For this purpose, some of the misconceptions that are exposed in the well-known movies Armageddon and Deep Impact are carefully analyzed. We present some general guidelines for developing a didactic proposal.

Keywords: Didactics, Meaningful Learning, Mechanics, Problems, College Physics

Motivación

Desde hace un tiempo, gracias a los resultados de investigaciones en la Didáctica de las Ciencias Naturales (Adúriz Bravo e Izquierdo Aymerich, 2002; Carretero, 2009a, 2009b; Driver et al, 1985; Pozo y Gómez Crespo, 1998a; Solbes, 2009; Viennot, 2002), y a la preocupación compartida por los resultados de la retención y

aprobación en los cursos de Física de los dos primeros años universitarios (Covián Regales y Matachana, 2008; Cravino y Lopes, 2003; Llancaqueo Henríquez et al, 2007; Pozo y Gómez Crespo, 1998b; Santos Benito y Gras-Martí, 2003) existe un interés creciente en los docentes universitarios por implementar propuestas que

sean novedosas y motivadoras para los alumnos, ya sea en carreras de Ciencias, Ingeniería o Profesorado en Ciencias, y que a la vez promuevan el aprendizaje significativo de las teorías, modelos, leyes y conceptos de la Física.

Si uno recorre las versiones más modernas de los clásicos libros de Física dedicados a los cursos de los dos primeros años de estas carreras, es evidente la preocupación de los autores y las editoriales en renovarlos mejorando su aspecto didáctico e incluyendo numerosas aplicaciones tecnológicas y científicas de los contenidos que se presentan. Sin embargo, si uno analiza las propuestas que se ofrecen al final de cada capítulo, en general siguen siendo lo que en la literatura de la didáctica de las Ciencias Naturales se ha dado en llamar “Ejercicios” (Ceberio et al, 2008).

Existen diversos trabajos en la literatura que contienen una adecuada recapitulación del camino recorrido en el campo de la didáctica acerca de la resolución de problemas. Recurriendo a estas fuentes, los modelos existentes se pueden agrupar de acuerdo a las siguientes categorías (Ceberio et al, 2008; Pozo y Gómez Crespo, 1998c).

- Modelos algorítmicos de resolución de problemas (también conocidos como Ejercicios)
- Modelo de resolución de problemas por comparación entre expertos y novatos.
- Modelo de resolución de problemas como actividad de investigación orientada.

Si bien cada una de ellas presenta subcategorías según el autor que se consulte, podemos afirmar que éstas son las tres categorías más generales que han establecido las investigaciones en la Didáctica de las Ciencias. Cada una tiene sus fortalezas y debilidades y apunta a desarrollar aspectos diferentes. Lo que queremos destacar aquí es que, en general, en los cursos de

Física de primer y segundo año se sigue manteniendo un exceso de “ejercicios”, en desmedro de problemas de otros tipos: conceptuales, planteados como investigación o ricos en contexto.

De acuerdo con lo señalado en Gil Pérez et al (2005), un problema planteado como investigación tendría las siguientes etapas: (a) buscar una situación problemática abierta que despierte el interés de los alumnos; (b) comenzar por un estudio cualitativo del problema, acotando el problema; (c) elaborar hipótesis acerca de que variables depende la magnitud buscada; (d) elaborar y explicitar las estrategias posibles de resolución, evitando la resolución por prueba y error; (e) fundamentar la solución y evitar operativismos carentes de significado físico; (f) analizar los resultados a la luz de las hipótesis y en los casos límite; (g) considerar la posibilidad de ampliación de las problemáticas investigadas.

Por su parte, un problema rico en contexto (Benegas y Villegas, 2011; Follari et al, 2011), describe una situación aproximadamente real que sea familiar al alumno, o que pueda ser imaginada fácilmente, lo que logra un involucramiento directo del mismo en la resolución, logrando así que el aprendizaje sea significativo.

El uso excesivo de los ejercicios tradicionales se traduce directamente en un tipo de aprendizaje que refuerza algunas características de la formación científica de base en desmedro de otras, sobre todo, el uso de algoritmos matemáticos. La resolución de problemas estándar se transforma en un fin en sí mismo, en lugar de ser una herramienta para la comprensión de las leyes, teorías y modelos físicos, lo que reduce el aprendizaje a procesos de resolución mecánica.

Así es común encontrar tres tipos de situaciones habituales:

- (a) Alumnos que al cabo de cierto tiempo prácticamente han olvidado los conceptos supuestamente aprendidos.

(b) Alumnos que no logran generar nuevos paradigmas superando las ideas con las que comenzaron sus cursos de Física (es bien conocido el caso de la persistencia de ideas aristotélicas y ligadas a la teoría del ímpetu, en alumnos que han aprobado cursos de Mecánica elementales)

(c) Alumnos que resuelven los problemas de los trabajos prácticos de sus cursos universitarios de manera más o menos correcta, pero que tienen muchas dificultades para resolver problemas de índole conceptual similar en contextos diferentes, por ejemplo, en aplicaciones tecnológicas sencillas.

Un aspecto clave que muchos docentes suelen olvidar es el de la importancia que tiene el desarrollo de la motivación intrínseca en los estudiantes para potenciar el proceso de aprendizaje. En el maravilloso libro "Lo que hacen los mejores Profesores Universitarios" (Bain, 2007), el autor menciona cuatro puntos básicos que tienen en común los profesores cuya enseñanza es recordada durante largo tiempo por sus alumnos:

"Hablamos con estudiantes años después de que hubieran tenido un profesor en concreto, y escuchamos sus testimonios sobre el tipo de docencia que conmovió sus mentes e influyó sus vidas....El concepto de aprendices profundos, desarrollado por vez primera en los años setenta por unos teóricos de Suecia nos ayudó a encontrar indicadores de permanencia de la influencia.

Asumimos que era probable que el aprendizaje profundo fuera duradero, y para buscar las evidencias de su presencia prestamos mucha atención al lenguaje que utilizaban sus estudiantes al describir sus experiencias.....Nos inspiraban las clases de las que los estudiantes hablaban no sobre lo mucho que tenían que recordar, sino sobre cuánto llegaron a entender. Algunos estudiantes hablaban de cursos que "habían transformado sus vidas", "lo

habían cambiado todo" e incluso "habían sacudido sus cabezas"...."

En el capítulo 2 de este libro, Bain menciona que (no casualmente) los mejores profesores:

"...se las han arreglado con su propia experiencia gracias a que trabajan con concepciones de los estudiantes que, en lo concerniente al aprendizaje humano, son notablemente parecidas a algunas ideas surgidas de la investigación y los trabajos teóricos sobre cognición, motivación y desarrollo humano."

En este contexto, menciona cuatro características clave comunes a los mejores profesores, a saber:

- (a) El conocimiento es construido, no recibido.
- (b) Los modelos mentales cambian lentamente.
- (c) Las preguntas son cruciales.
- (d) El interés es crucial.

Si la motivación personal no está presente, y el alumno siente que tiene que estudiar para aprobar una materia, probablemente está instalando la semilla del olvido a corto y mediano plazo de muchos de los contenidos que se enseñan en la materia.

Teniendo en cuenta todo lo anterior, es muy importante plantear trabajos prácticos que resulten atractivos, desafiantes y formativos para los alumnos, en los que por lo menos alguno de los problemas que deban resolver conecte el proceso de aprendizaje con elementos que pertenezcan a su mundo cotidiano y que les permita explicar fenómenos naturales que observen o puedan llegar a imaginar en términos de los modelos, leyes y teorías que están aprendiendo en Física.

El cine como herramienta didáctica

Una de las posibles alternativas que ha tomado cierta difusión en la literatura de la didáctica de las ciencias naturales, ya

sea en algunos artículos publicados (García Borrás, 2008, 2011; Quirantes Sierra, 2011) así como libros específicamente dirigidos a esa temática (Dubeck et al, 2003; Palacios, 2008; Rogers, 2007; Weiner, 2007) es el análisis de escenas de las películas de ciencia ficción en términos de las leyes físicas. Existen inclusive sitios web y blogs muy interesantes dedicados a esta temática, que resultan de mucha utilidad en el trabajo en el aula (se señalan en las referencias, por ejemplo, los blogs de Sergio Palacios, Phil Plait, Arturo Quirantes Sierra y Alfonso Terán Rivera).

La realidad del mundo cotidiano muestra una fuerte influencia del mundo de la imagen en los jóvenes y adolescentes a través del cine, la televisión, la publicidad e internet. En lo que hace a las posibilidades que presentan estos medios en los procesos de aprendizaje, algunas de las peculiaridades del cine (las imágenes en movimiento, el sonido que las acompaña, los climas emocionales que suelen generar las películas, la espectacularidad de las tomas) crean naturalmente una atmósfera de atención que, bien aprovechada bajo la guía de docentes creativos, puede transformarse en formidables oportunidades de aprendizaje.

Como bien se menciona en García Borrás (2005)

“Con la aparición de nuevas tecnologías y técnicas cinematográficas, se ha posibilitado el acceso a lugares inalcanzables y a recreaciones que, de otro modo, hubiesen resultado inimaginables. Nosotros, los profesores de Ciencias, podemos seleccionar esas recreaciones y extraer el mayor rendimiento de las mismas.”

Existen varias referencias en la literatura acerca de las diferentes posibilidades de uso de esta herramienta para el aprendizaje de Física (García Borrás op.cit., García Borrás 2008; 2011), pero en todas ellas se menciona que se logró un significativo aumento de la atención y el interés de los alumnos en el tema que se estaba discutiendo.

Por otro lado, cabe mencionar que es muy común que las escenas de muchas películas contribuyan a instalar ideas erróneas, o a reforzar ideas previas que difieren de aquellas compartidas por la comunidad científica. Tal como bien señala Quirantes Sierra (2011):

“Por lo general, el estudiante debe tener algún tipo de conocimiento previo que le ayude a “anclar” los conceptos nuevos. Un problema, conocido como impedimento sustantivo, se manifiesta cuando el conocimiento “anclado” es incorrecto. La asimilación de conocimientos nuevos a concepciones previas falsas da lugar a un fallo especialmente dañino en el proceso de aprendizaje, por cuanto no hay constancia siquiera de su existencia: el alumno no sabe, pero cree que sabe.”

Desarrollo del pensamiento crítico

Una de las limitaciones formativas que presenta el trabajo con los ejercicios tradicionales tomados de los libros de Física universitaria es que se corre el riesgo de no ayudar a desarrollar en los estudiantes un espíritu crítico ante los modelos y explicaciones de los fenómenos naturales. Otro problema que suele generarse en este modelo de enseñanza es que los alumnos suelen aplicar irreflexivamente ecuaciones que relacionen datos con incógnitas, sin preocuparse por su campo de validez. Este tipo de razonamiento estratégico de ‘sentido común’ que se ha denominado ‘fijación funcional’ puede encontrarse tanto en razonamientos cuantitativos como cualitativos (Solbes 2009).

Por otro lado, es común que alumnos que han estudiado Física a nivel universitario tengan dificultades para tener una mirada crítica frente a conceptos y modelos erróneos que aparecen en los medios de comunicación social.

Si queremos formar profesionales que sepan analizar críticamente la información

que reciben, es imprescindible generar oportunidades de aprendizaje que les permitan desarrollar esa mirada desde las bases de su formación.

Al decir de García Borrás (2005):

Parece evidente que los medios citados tienen un poder irresistible de convicción y son capaces de establecer modas, opiniones y, por supuesto, aprendizajes; basta mirar cualquier anuncio que, para aportar credibilidad, incluye palabras como: “científicamente probado...”, “avalado por...”.

Estableciendo como premisa que el estudiante se alimenta de unas sustanciales horas de televisión y que asiduamente ve películas, es posible establecer que reciben una gran cantidad de información que procesan de una forma acrítica (García Borrás, 2005) debido, principalmente, al desconocimiento del contenido simbólico que se muestra a través de la imagen (León, 2008).

También, es posible suponer que el citado conocimiento es asimilado como veraz e incorporado a sus ideas previas y, evidentemente, alcanza un estatus cultural, en concordancia a la clasificación de las ideas previas que realizaron Pozo y Gómez Crespo (1998d). Lo expuesto en estas líneas, podría ser corregido en parte por medio del empleo del cine como recurso didáctico en muchas asignaturas, no delegando el conocimiento del séptimo arte a los versados en el mismo. No hay que olvidar que dentro de esta sociedad globalizada de la información, los medios audiovisuales desempeñan una función cada vez más relevante en la difusión de ciertas concepciones alternativas, ya sea a través de su intento de divulgación como por medio de la publicidad (Lacolla, 2005).

Motivación extrínseca y motivación intrínseca

En todo proceso de enseñanza y aprendizaje, tiene que haber incentivos para que el proceso sea eficaz. Si el alumno estudia teniendo como objetivo aprobar la asigna-

tura, la motivación está dada por un factor externo: la aprobación del otro (docente, padres), o bien, con una finalidad utilitaria: el mero objetivo de superar un obstáculo en el camino hacia el título que pretende alcanzar. Rodríguez Moneo y Huerfías (2000) llaman a este tipo de motivación “motivación por ejecución”.

Por el contrario, cuando lo que motiva al alumno es el deseo de adquirir conocimiento, está más interesado en aprender. En este caso, la motivación es netamente intrínseca y los resultados que se obtienen son mucho más fructíferos; el alumno no teme a los conflictos cognitivos, por el contrario, los busca con interés. En este caso, hay una motivación por el aprendizaje (García Borrás, 2005).

El punto a destacar es que si bien los alumnos pueden tender a presentar inicialmente actitudes del primer tipo, el trabajo del docente sobre la motivación puede hacer que el estudiante vaya adquiriendo paulatinamente hábitos propios del segundo tipo. Como bien dice Claxton en Pozo y Gómez Crespo (1998e), “motivar es cambiar las prioridades de una persona”. Desde este punto de vista, señalan que:

“.....Para ello, la enseñanza debe tomar como punto de partida los intereses propios de los alumnos, de buscar la conexión con su mundo cotidiano, pero con la finalidad de trascenderlo, de ir más allá, e introducirles, casi sin saberlo, en la tarea científica”

La importancia de la metodología de trabajo en la formación científica y su influencia en un aprendizaje sustentable

Los cursos tradicionales de Física en la Universidad consisten básicamente en clases magistrales de teoría y de trabajos prácticos basados, fundamentalmente, en la resolución de ejercicios de diferente complejidad, de tipo cerrado, con la inclu-

sión de algunos trabajos de laboratorio con guías muy estructuradas, bastante alejadas de lo que debería ser el trabajo científico de laboratorio.

Tal como menciona Solbes (2009):

“Los alumnos únicamente llegarán a cambiar sus formas usuales de razonamiento y a superar sus tendencias metodológicas usuales de sacar conclusiones precipitadas y a generalizar acríticamente a partir de observaciones meramente cualitativas si son puestos reiteradamente en situación de aplicar la metodología científica, es decir, en situación de plantearse problemas, emitir hipótesis a la luz de los conocimientos previos, diseñar experimentos, realizarlos, analizar los resultados, que verifican o falsan la hipótesis, etc.”

En el libro *La Ciencia en el Aula*, una referencia casi obligada de lectura para aquellos docentes preocupados en mejorar la educación en ciencias, Gabriel Gellon y sus compañeros de autoría plantean ideas similares. Rescatamos algunos párrafos textuales del libro para ilustrar estas ideas (Gellon et al, 2005, pp 15):

“La tesis central de este trabajo es que las ideas que produce la ciencia están indisolublemente ligadas con la forma en que son producidas. Sostenemos que esta conexión es tan profunda que resulta imposible (o especialmente arduo) establecer una comprensión profunda de los conceptos científicos sin un entendimiento más o menos cabal de cómo se arriba a estos conceptos a través de la investigación”

Dentro de este esquema general, Gellon et al, (op.cit.) mencionan como uno de los cinco aspectos clave en la construcción del conocimiento científico lo que en su libro denominan el aspecto social de la ciencia. Se refieren a la construcción de los conocimientos científicos como procesos en los

cuales los participantes interactúan unos con otros para construir conocimiento, mediante procesos de crítica, construcción de consensos y corrección por pares. En este aspecto, pensamos que el planteo y la resolución de problemas abiertos, conceptuales y planteados como investigación usando para ello el análisis de escenas de películas que involucran conceptos y leyes de la Física, puede ser una herramienta muy valiosa para la puesta en juego de esta característica relevante en el aprendizaje de las ciencias.

Para ello, es importante generar en el aula discusiones fundamentadas ante un determinado fenómeno que se muestre en una cierta escena. Aquí, el docente debe permitir y alentar el disenso entre los estudiantes, pero a la vez dar elementos para construir consensos. Tal como se desprende de la perspectiva del constructivismo sociocultural (basado fundamentalmente en las ideas de Vigotsky (1964) todo aprendizaje se da mediante la interacción entre personas que se involucran en un discurso compartido. En este contexto, Gellon et al., (op. cit.) plantean que:

“...la comprensión de los fenómenos científicos se construye a medida que los mismos se involucran en conversaciones en las que debaten sus ideas acerca de lo que ven o lo que creen que sucede.....El docente tiene múltiples roles: es guía, moderador del debate e incluso parte de la comunidad de aprendizaje que se forma en el aula. Tiene la función de sugerir ejemplos y modelar las preguntas y explicaciones válidas en una investigación, guiar a los alumnos para buscar información o diseñar experimentos, ayudarlos a presentar ideas frente al resto de la clase y proponerles críticas para mejorarlas”

Tabla I. Diferencias conceptuales entre aprendizaje sustentable y aprendizaje aislado, según el MACCS. Tomado de Galagovsky (2004a).

<i>Aprendizaje sustentable</i>	<i>Aprendizaje aislado</i>
Es un proceso que involucra capacidades y múltiples estrategias cognitivas.	Es un proceso cognitivo que sólo involucra habilidades memorísticas.
Implica construcción de un <i>conocimiento sustentable</i> , relacionado con la estructura cognitiva existente.	No implica la construcción de un conocimiento relacionado con conocimientos previamente existentes en la estructura cognitiva. Origina un conocimiento aislado.
Reconoce saberes previos en los alumnos.	No necesita recurrir a conocimientos previos.
Necesita esfuerzos cognitivos de atención en la memoria de trabajo para seleccionar y vincular conscientemente la nueva información a los <i>conceptos sostén</i> . Requiere esfuerzo memorístico para consolidarse en la Memoria de Largo Plazo.	Necesita esfuerzos repetitivos para consolidarse en la Memoria a Largo Plazo.
Puede olvidarse parcial o totalmente, pero podría ser más fácil de recuperar que un aprendizaje totalmente aislado.	Puede olvidarse parcial o totalmente. Puede, algún día, vincularse y volverse sustentable, mediante insight.
Cuanto más se vincula, más significativo y sustentable es. La información recibida es resignificada por el sujeto para transformarla en <i>conocimiento sustentable</i> .	La información se guarda sin vinculación a conocimientos ya existentes; puede, por lo tanto, guardarse en la Memoria a Largo Plazo tal cual se recibió.
Como proceso favorece destrezas significativas para lograr <i>conocimientos sustentables</i> . Estos son anclaje y sostén para nuevos conocimientos sustentables.	Como proceso solo favorece el entrenamiento en el uso de estrategias de memoria. El conocimiento aislado no actúa de anclaje o sostén para posteriores aprendizajes sustentables.

Por otro lado, en dos trabajos publicados en 2004, Galagovsky (2004a, 2004b) re-discute los términos aprendizaje significativo y su extremo opuesto, el aprendizaje memorístico, presentando el *modelo de aprendizaje cognitivo consciente sustentable* (MACCS). En este contexto, esta autora define los términos *aprendizaje sustentado*, *aprendizaje aislado* y *concepto sostén*.

En la Tabla I, se muestran las diferencias entre el aprendizaje sustentable y el aprendizaje aislado, en el marco de este modelo.

Creemos que la propuesta de Gellon et al (op.cit.) favorece explícitamente un aprendizaje de este tipo. Es en este contexto, en el que proponemos incorporar el trabajo con problemas planteados como investigaciones abiertas basados en el uso de escenas de películas de ciencia ficción,

como una herramienta valiosa a tener en cuenta en los cursos de Física de los primeros años de las carreras de Ingeniería, Ciencias y Profesorado en Ciencias.

Algunas ideas generales acerca de la Física en las películas de ciencia ficción

En la enseñanza de las ciencias, uno de los elementos que dificulta la construcción de conceptos es la preexistencia de ideas erróneas. Algunas revistas de cuasi divulgación científica o ciertas películas de ciencia ficción pueden tener influencia en la formación de tales ideas.

Un tratamiento exhaustivo de este tema excede el propósito de este artículo, no obstante, citamos a continuación algunos ejemplos relativos a temas vinculados al espacio exterior, dado el interés que des-

piertan las películas de este género en la mayoría de las jóvenes.

En la célebre película “Encuentros cercanos del tercer tipo” (estrenada en el año 1977) se presenta una escena en la que un ser extraterrestre se posa en la superficie terrestre luego de atravesar la atmósfera de nuestro planeta. Es notable el aspecto exterior de la nave que este ser utiliza: es similar al del instrumento musical conocido como órgano (tal como el que se encuentra en muchas iglesias). Esta imagen puede dar al espectador la idea de que la forma externa de la nave es un detalle menor, y que tal vez podría quedar definida por razones puramente estéticas. En otras palabras, esta escena puede crear el concepto erróneo de que el aire no ofrece resistencia alguna al avance de un objeto. Muy por el contrario, si una nave de esas características intentara atravesar la atmósfera su suerte no sería la mejor: no podría evitar destrozarse en el intento por culpa de la enorme resistencia al avance ofrecida por nuestra atmósfera. La fricción con el aire es tan intensa que la temperatura de la zona de la nave sobre la que incide el aire llega a ser muy elevada, por lo que para minimizar este efecto es fundamental que la misma tenga forma aerodinámica. Cabe aquí destacar que si no se considera el efecto de la atmósfera y la nave incide con una trayectoria inadecuada podría rebotar que si la nave no considera el efecto de la atmósfera e incide en una trayectoria inadecuada esta última podría rebotar tal como ocurre cuando se arroja una piedra en trayectoria rasante sobre el agua. La resistencia del aire al movimiento de objetos da lugar a algunas de las principales dificultades en los viajes espaciales, excepto para Hollywood, claro.

Más recientemente, ocurrió un fenómeno astronómico que “inspiró” varias películas. En el año 1994, un cometa (el Shoemaker-Levy) colisionó con la superficie del planeta Júpiter dando lugar a un espectáculo de proporciones tales que fue

capaz de ser visto desde nuestro planeta aún con telescopios de mediana potencia. Los cometas son objetos que orbitan alrededor del Sol y no hay ninguna razón para que, en lugar de Júpiter, el planeta que sufra una colisión no sea el nuestro. Este peligro latente existió y existirá siempre. Por tanto, aprovechando algo tan movilizador como el miedo, en el año 1988 se estrenaron dos películas alusivas a esa posible catástrofe global para la humanidad: “Armageddon” e “Impacto profundo” (“Deep impact”), que analizaremos con más detalle a continuación en relación a temas específicos de Mecánica.

Si bien es posible mencionar muchos otros ejemplos, cabe destacar que las razones que llevan a la falta de rigor científico en las películas citadas, seguramente pueden encontrarse en su finalidad comercial y en la búsqueda de espectacularidad y entretenimiento. No obstante, creemos que si un espectador aficionado a este tipo de filmografía quisiera estudiar ciencias seriamente, su esfuerzo y el de sus profesores, podría ser mayor.

Algunas cuestiones de Mecánica Elemental en Armageddon e Impacto profundo

En los cursos de Física de primer año de Ingeniería, Ciencias y Profesorado de Ciencias los temas de Mecánica ocupan un lugar central. Por este motivo, al analizar algunas de las escenas de las dos películas que hemos escogido para este trabajo, nos limitaremos al tratamiento de algunos conceptos básicos de la mecánica newtoniana.

Impacto Profundo

Cuestiones sobre trayectorias de cuerpos celestes

Uno de los errores más graves de “Impacto profundo” está relacionado con la

observación realizada por un astrónomo, quien descubre la inminente colisión de un cometa contra la Tierra. Según la película una única observación basta para concluir que el impacto ocurrirá. Sorprendentemente, la película da a entender que no es necesario observar “la trayectoria del objeto”. Por el contrario, para concluir que una colisión de este tipo va a ocurrir es necesario contar, como mínimo, con tres observaciones precisas de posiciones sucesivas.

La precisión del cálculo de la órbita será tanto mayor cuanto mayor sea la fracción de la órbita recorrida por el objeto entre las observaciones. Estos datos permiten realizar el cálculo de la órbita del objeto y luego encontrar si efectivamente esta trayectoria cruza la órbita terrestre. Pero aún eso es insuficiente. Para que la colisión ocurra la Tierra tiene que estar en dicha intersección en el momento en que el cometa pasa por allí. Como vemos, no es tan sencillo concluir que una colisión de este tipo realmente ha de ocurrir.

El cálculo de una órbita precisa es condición fundamental para determinar si el objeto ha de colisionar o no con nuestro planeta. La órbita de un objeto alrededor del Sol se define a través de seis cantidades (Figura 1): el semieje (a) que es la distancia promedio al Sol, la excentricidad (e), la inclinación (i) respecto de un plano (normalmente el plano de la órbita terrestre, o plano de la eclíptica), la longitud del nodo ascendente (Ω), la longitud del perihelio (ω) y el tiempo de pasaje por el perihelio (T). La órbita de un objeto en órbita elíptica esta descripta por la expresión:

$$r = \frac{a(1 - e^2)}{1 + e \cos(\alpha - \omega)}$$

donde α es el ángulo de posición del objeto en órbita medido desde el nodo ascendente. El perihelio es la distancia mínima al Sol, la cual es $r_p = a(1 - e)$.

Estas seis cantidades corresponden a una órbita que, si despreciamos las interacciones con el resto de los cuerpos del Sistema Solar, no cambia con el tiempo. Ω es el ángulo medido desde el Punto Vernal (definido por la intersección del ecuador celeste y el plano de la eclíptica ubicado en la Constelación de Aries) hasta el punto en el que el objeto cruza la eclíptica moviéndose desde el hemisferio sur hacia el norte. ω es la posición del perihelio medida sobre el plano orbital desde el nodo ascendente. Para poder determinar estas cantidades es necesario contar, como mínimo con tres observaciones. (Tatum en <http://orca.phys.uvic.ca/~tatum/celmechs/celm13.pdf>)

Cuestiones sobre estrategias de desvíos de asteroides

Posiblemente a partir de de la influencia de la teoría más aceptada acerca de la extinción de los dinosaurios por el impacto de un asteroide en la península de Yucatán, se instaló en la sociedad la preocupación por desarrollar herramientas que permitan evitar este tipo de catástrofes. En la actualidad, existen diversos proyectos relacionados al seguimiento de asteroides y cometas, y se han propuesto distintas alternativas para evitar este tipo de impactos.

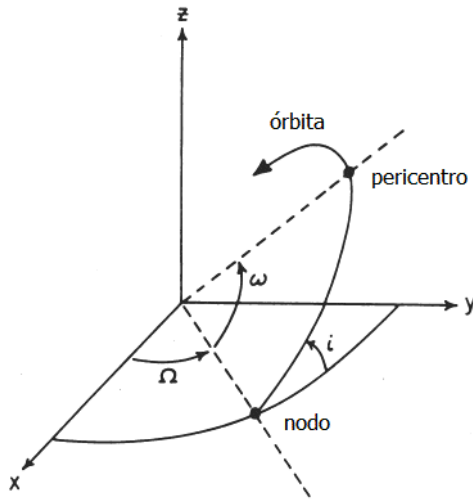


Figura 1. Esquema de la órbita de un objeto alrededor del Sol

En el blog www.malaciencia.info, en particular en el artículo “Desviando asteroides”

(<http://www.malaciencia.info/2005/11/desviando-asteroides.html>), se comenta una de las alternativas probables, refiriéndose a un asteroide que tiene una cierta chance de impactar en la Tierra:

Empecemos con algunos datos de 99942 Apofis (en adelante Apofis). Es un asteroide de unos 400 m de diámetro y 46 millones de toneladas que sigue una órbita alrededor del Sol muy cercana a la de la Tierra: su distancia al Sol oscila entre 0,75 y 1,1 UA (por definición, una UA es la distancia media entre la Tierra y el Sol). Se calcula que el 13 de abril de 2029, pasará a tan sólo 36.350 km de la superficie terrestre, lo que es muy cerca teniendo en cuenta que los satélites geoestacionarios se encuentran a 35.786 km. El problema es que el 13 de abril de 2036 volverá a encontrarse con nosotros, con una pequeña probabilidad de chocar.

Todo depende de lo que ocurra durante el acercamiento de 2029. Los astrónomos han calculado que si el asteroide pasa por una determinada región del espacio de 600

m de diámetro en su encuentro con la Tierra, entraría en resonancia orbital con nuestro planeta, por lo que tendríamos un acercamiento peligroso cada 7 años. Hay que determinar si el asteroide pasará o no por esa región, ya que si no lo hace, tendremos la seguridad de que no colisionará con nosotros en el futuro.

Y bien, todo esto, ¿para qué? Pues resulta que la Tierra tiene un diámetro de unos 12.800 km. “Es bastante más fácil desviar un asteroide para que falle un blanco de 600 m que de 12.800 km”. Es más, la NASA afirma que desviar un asteroide de ese tamaño para evitar un blanco tan grande como nuestro planeta, está más allá de nuestras capacidades tecnológicas actuales. No digamos ya el destruirlo.

El destruir un asteroide del tamaño del que se menciona en esta película y en la anterior, requeriría de una enorme cantidad de energía.

Cuestiones sobre la aceleración de la gravedad

A pesar que el Cometa Wolf-Beiderman es gigantesco (tiene once kilómetros de diámetro y es más grande que el Monte Everest), desde el punto de vista del valor de la aceleración de la gravedad sobre su superficie, de acuerdo con los valores promedio de la densidad de estos cuerpos celestes (0,5 g/cm³), ésta debe ser mucho menor que la que experimentamos sobre la superficie de la Tierra. Suponiendo el cometa como una esfera, y respetando el tamaño que se muestra en la película, el cálculo indica que la aceleración de la gravedad sobre su superficie debería ser ligeramente menor a 0,0008 m/s², o sea, mucho menor que la terrestre. Para describirlo más gráficamente una persona de 100 Kg de peso en la Tierra pesaría sobre la superficie del cometa cerca de 8 g.

Para analizar algunas de las escenas referidas a los efectos gravitatorios es importante calcular la velocidad de escape. Este parámetro es la velocidad que tendría

que tener un objeto para escapar de la acción gravitatoria de un cuerpo celeste. Para calcularla, uno plantea que en esa condición la suma de las energías potenciales gravitatoria y cinética del objeto debe ser cero. Esto es:

$$-\frac{GMm}{r} + \frac{1}{2} m V_{ESC}^2 = 0$$

Donde M es la masa del cuerpo celeste, r su radio, m la masa del objeto, V su velocidad y G la constante de gravitación universal. Despejando, obtenemos:

$$V_{ESC} = \sqrt{\frac{2GM}{r}}$$

Suponiendo que el cuerpo celeste es una esfera, e introduciendo la densidad promedio δ del mismo, no es difícil demostrar que la expresión anterior se transforma en:

$$V_{ESC} = \sqrt{\frac{8}{3} G \pi r \delta}$$

Suponiendo un valor típico de densidad de los cometas (dato tomado de Wikipedia) como $\delta \cong 500 \text{ Kg/m}^3$, y reemplazando el valor de r dado por la película (5,5 km),

$$V_{ESC} \cong 2,9 \frac{\text{m}}{\text{s}} \cong 10,5 \frac{\text{km}}{\text{h}}$$

Estos cálculos difieren un poco de los valores obtenidos en el blog Bad Astronomy (4 m/s), pero las conclusiones son similares: es muy sencillo que un astronauta salga despedido con facilidad hacia el espacio exterior con solo dar un salto con cierto empuje. En este sentido, son bastante razonables las imágenes que se muestran en esta película. Así también el mecanismo elegido para que la nave “aterrice” sobre la superficie del planeta, usando

para ello amarras que se clavan en el suelo del asteroide.

Cuestiones sobre la transformación de energía

En los últimos tramos de la película, sobreviene el desenlace. La porción de menor tamaño impacta en el océano, produciendo eventos catastróficos por las enormes olas que genera. Sin embargo, no son los efectos de esta parte del cometa los que nos interesa analizar, sino los producidos por la aparentemente “inocua” desintegración de la porción más grande, gracias al sacrificio de la tripulación del Mesías, cuyos fragmentos pareciera que impactan en su totalidad en la atmósfera terrestre².

Suponiendo que las armas nucleares de las que dispone la nave tuvieran la suficiente energía como para fragmentar tamaño monstruo, analicemos qué sucedería con la temperatura de la atmósfera si, como parece verse en la película, todos los fragmentos de esta porción del cometa se desintegraran en la misma. Supongamos además, a fin de simplificar el cálculo, que la energía que se transfiere a la atmósfera es igual a la energía cinética que tiene esta enorme roca en movimiento.

De acuerdo con los valores que venimos usando en los cálculos previos:

$$E_{CIN} = \frac{1}{2} MV^2 = \frac{2}{3} \pi r^3 \delta V^2$$

Reemplazando valores se obtiene una energía $E_{CIN} \cong 2,09 \times 10^{23} \text{ J}$. Como los fragmentos aparentemente se desintegran por rozamiento con el aire, es de suponer que esta energía elevará la temperatura de la atmósfera.

Sólo a modo de referencia, supongamos que esa energía se distribuyera uniformemente en toda la atmósfera terrestre. Tomando los datos publicados en el mismo blog, la masa M_{AIRE} y el calor específico C_{AIRE} del aire en la atmósfera valen:

$$M_{\text{AIRE}} \cong 5,1 \times 10^{18} \text{ Kg}$$

$$C \cong \text{de } 1005 \text{ a } 1030 \frac{\text{J}}{\text{Kg K}}$$

Tomaremos como valor promedio del calor específico 1018 J/Kg K. Con estos valores, el aumento de temperatura en la atmósfera viene dado por:

$$\Delta T = \frac{E_{\text{CIN}}}{M_{\text{AIRE}} C_{\text{AIRE}}} \cong 40 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Evidentemente, de ninguna manera semejante aumento de temperatura puede ser “inocuo”. Si, además, la distribución de impactos de los fragmentos se concentrara en determinadas zonas de la atmósfera, se producirían enormes gradientes de temperatura que darían lugar a vientos de elevado poder destructivo.

Armageddon

A modo de ejemplo, transcribimos dos párrafos de las referencias que hemos mencionado:

“De vez en cuando, (y, de hecho, mas a menudo que eso), una película insulta al público a todo nivel. “Armageddon” es una de esas películas. No sólo cada escena está poblada de necio diálogo Hollywoodense y de clichés de personajes, sino también la física en la película es francamente absurda. Por lo tanto, con legítima indignación vamos a criticar las atrocidades de física “Armagedón”.” (Weiner, 2007, pp 106. Traducción de los autores)

“Aquí está la versión corta: en “Armagedón” parte de la astronomía es correcta. Por ejemplo, hay un asteroide en la película, y los asteroides realmente existen. Y luego fue... bueno, ya sabes ... Bueno, eso es todo lo que está bien. Ahora sé que la precisión no era el punto principal de la película, y claramente por la forma en que

se desarrolla la trama, el realismo fue la última cosa en la mente de los escritores. Una persona que me envió un correo dijo que la película tenía “un nivel de ciencia de libro sub-cómico”, lo cual es más o menos correcto.” (Plait, Phil: <http://blogs.discovermagazine.com/badastronomy/>. Traducción de los autores).

Sin embargo, esta película brinda muchísimas oportunidades de poner a prueba nuestros conocimientos básicos de Física. Con este objetivo, señalaremos varios de esos errores, restringiéndonos al campo de la mecánica clásica.

Cuestiones sobre la energía

Cuando comienza la película, se ve un asteroide moviéndose hacia la Tierra, y se nos dice que fue el que mató a los dinosaurios 65 millones de años atrás. El narrador dice que explotó con la fuerza de “10.000 armas nucleares”

Veamos qué tan cierta es esta afirmación. La bomba atómica arrojada en Hiroshima tenía un poder explosivo de 15 kTon. Esto significa que, en términos de energía, en el momento de la explosión, dicha bomba liberó 6.276×10^{13} Joules. Debido al desarrollo de la tecnología armamentística, la bomba nuclear más potente existente en la actualidad tiene un poder explosivo 600 veces mayor, esto es, $600 \times 15 \text{ kT} = 9 \text{ Mton}$, lo que en términos energéticos equivale a la capacidad de liberar 3.76×10^{16} Joules. Por lo tanto, 10.000 armas como esta última podrían liberar 3.76×10^{20} Joules.

Ahora bien, calculemos en forma aproximada la energía cinética del asteroide más grande conocido (Ceres), suponiendo que el mismo tiene forma esférica. Con datos conocidos y aceptados por la comunidad científica:

$$R \cong 5 \times 10^8 \text{ m}$$

$$V \cong 1.1 \times 10^4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

$$\rho \approx 3 \frac{g}{cm^3}$$

Por lo tanto, la energía cinética de este asteroide es aproximadamente $E_{CIN} \approx 1029$ J. Esto equivale a ¡¡¡ $2,5 \times 10^{15}$ bombas como las mencionadas!!!

Cuestiones sobre la aceleración de la gravedad y las leyes de Newton

Uno de los errores groseros en "Armageddon" se relaciona con la aceleración de la gravedad en la superficie del asteroide que amenaza a nuestro planeta. Según dicha película, en un asteroide de un tamaño de 1400 Km, que supondremos como el radio promedio del mismo, la aceleración de la gravedad es suficiente para caminar sobre él! Citemos aquí que al presente no se conoce ningún asteroide de dicho tamaño en nuestro Sistema Solar, el más grande es Ceres con un diámetro de unos 980 Km. Es muy difícil que exista un asteroide del tamaño mencionado en la película y que haya alcanzado las proximidades de la Tierra desde que los astrónomos cuentan con medios avanzados de observación.

Sin embargo estos objetos podrían existir lejos de la Tierra donde resulta imposible detectarlos con los medios actuales de observación. Aun si ese asteroide gigante existiera, un cálculo elemental muestra que si su densidad fuera del orden de unos tres gramos por centímetro cúbico, tal como se espera para el material típico de los asteroides (Britt et al, 2002), la aceleración de la gravedad en su superficie sería de sólo un 12 % de la que tenemos en la superficie terrestre (suponiendo que el asteroide es una esfera). Por lo tanto, quien en la tierra pese $100 \frac{Kg}{g}$ en el asteroide pesaría solamente $12 \frac{Kg}{g}$. Entonces si alguien intentara caminar sobre el asteroide seguramente saldría despedido al espacio. Para evitar esta situación, ¡dicho astronauta debería estar vinculado mecánicamente al asteroide!

Repitiendo el cálculo que hemos hecho en el caso del cometa de Impacto Profundo, en este caso, la velocidad de escape es mucho mayor, del orden de 6500 km/h. Con estos datos en mente, analizaremos algunas cuestiones referidas al efecto de la aceleración de la gravedad sobre astronautas y naves ubicados en la superficie del asteroide.

Para remediar este problema, la película muestra que tanto los astronautas como los armadillos de perforación están provistos con propulsores en la parte de arriba. Estos propulsores, cuando son activados, los impulsan hacia abajo, y les permiten operar en condiciones de mayor gravedad. Sin embargo, en numerosas escenas esto no ocurre.

Es particularmente interesante analizar la escena en la cual el armadillo conducido por Ben Affleck, dirigiéndose al encuentro del equipo dirigido por Bruce Willis, llega al borde de un acantilado, y la única forma de seguir adelante es saltar al vacío, apagar los motores cuando comienza el salto, e inducir la caída y posterior "aterrizaje" sobre la superficie del asteroide usando estos cohetes impulsores. Tal como se menciona en el blog Mala Ciencia, (<http://www.malaciencia.info/2006/01/armageddon-gravedad-en-el-asteroide.html>):

"El vehículo "vuela" sobre el abismo, pero tropieza con algunas "estalagmitas" de esas y gira sin control hacia el espacio. Los tíos activan los propulsores y consiguen posarse en el suelo. Teniendo en cuenta que los propulsores sólo ejercen fuerza hacia abajo, con relación al armadillo (están montados en la parte de arriba), el vehículo debería desplazarse en la dirección a la que apuntasen sus ruedas. Dado que el armadillo estaba dando vueltas de campana, deberían activar los propulsores sólo durante el breve tiempo en el que las ruedas apuntasen al suelo, desactivarlos el resto del tiempo, y así vuelta tras vuelta hasta que comiencen a caer

hacia la superficie. En cambio los tíos los encienden en un momento dado y se posan en seguida.”

También en la misma página se mencionan otras escenas que no se condicen con los valores de aceleración de la gravedad que hemos calculado:

“En el exterior, hay un momento en el que el asteroide empieza a temblar, y varias “estalagmitas” se derrumban y caen rocas de otros sitios. Todos esos fragmentos caen como si estuvieran en gravedad terrestre (lógico, pues es un decorado de algún plató situado en la Tierra).

Sucede lo mismo con las explosiones. Hay algunas en las que salen chispas y fragmentos, que enseguida caen al suelo. Con tan poca gravedad, deberían dispersarse muchísimo más.

Luego están los astronautas en el exterior. Ciertamente, llevan unos propulsores, pero éstos ejercen fuerza hacia abajo en relación con el torso. Sin embargo, en la secuencia del temblor y las rocas que caen, alguno de los personajes se tira al suelo. Bien, si lleva los propulsores encendidos, éstos deberían haberle empujado hacia atrás, al adquirir posición más o menos horizontal en pleno salto. Si los apaga antes del salto para evitar esto, entonces tendría que haber salido despedido.”

Cuestiones sobre cinemática básica y explosiones

De acuerdo con los datos que venimos manejando, suponiendo que toda la energía de la explosión se convirtiera en energía cinética de movimiento perpendicular a la dirección original de movimiento, dado que el radio de la Tierra es de 6400 km, si consideramos que la explosión se va a producir 4 horas antes del impacto, para evitarlo, la componente vertical de la velocidad de cada mitad tiene que ser de 444,44 m/s. Para ello, la energía de la bomba implantada tendría que haber sido

de $2,96 \times 10^{26}$ J, o sea, tendría que haber sido tan energética como $7,41 \times 10^{13}$ bombas nucleares del tipo más potente que se conoce actualmente.

Si lo pensamos, usando otra comparación, y suponemos que Bruce Willis y su equipo implantan y detonan en el asteroide la bomba nuclear más potente conocida, y mantenemos la hipótesis que toda la energía de la explosión se usa en dar velocidades en el eje vertical a las dos mitades del asteroide, al llegar a la Tierra solo se habrán desviado 2,35 metros de su dirección original. Ha llegado el fin del mundo!!!

Cuestiones sobre dinámica rotacional

Analicemos ahora el hecho que se muestra cuando las dos naves se acoplan a una estación espacial rusa y la misma empieza a girar a efectos de producir una gravedad en forma artificial. La idea es correcta; lo que no es correcto en absoluto es la magnitud de la aceleración de la gravedad que se consigue simplemente a partir de los datos que se pueden obtener de la película.

Si uno calcula a partir de las magnitudes y tiempos que se ven en la pantalla, en el lugar donde quedaron colocadas las naves la aceleración que se obtiene es de aproximadamente $0,1 \text{ m/s}^2$. Por lo tanto, en el pasillo central de la estación rusa, el valor es mucho menor.

Para estimar el tamaño de la astronave, se partió de las Figuras 2, 3 y 4 estimando las longitudes usando escalas. Si en la Figura 2, estimando h a partir de la altura de las personas,

$$h \cong 1,7 \text{ m}$$

$$\frac{h}{d} \cong 2$$

Entonces,

$$d \cong 0,85 \text{ m}$$

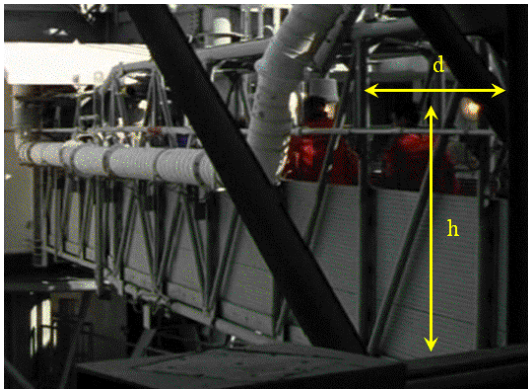


Figura 2. Estimación de h y d .

En la Figura 3 se ve que el largo del pasillo L_P es aproximadamente $7d$, por lo que $L_P \approx 6$ m. Habiendo estimado esta magnitud, recurrimos a la Figura 4, donde se observa la nave junto al pasillo. La longitud de la nave L_N se puede estimar de dicha fotografía, ya que aproximadamente:

$$\frac{R}{L_N} \cong \frac{6}{7} \Rightarrow L_N \cong 17 \text{ m}$$

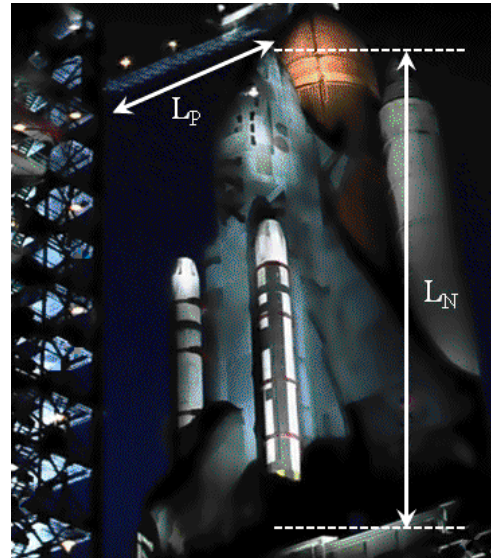


Figura 4. Estimación de L_N .

$$\frac{L_N}{L_P} \cong \frac{13}{4} \Rightarrow L_N \cong 20 \text{ m}$$

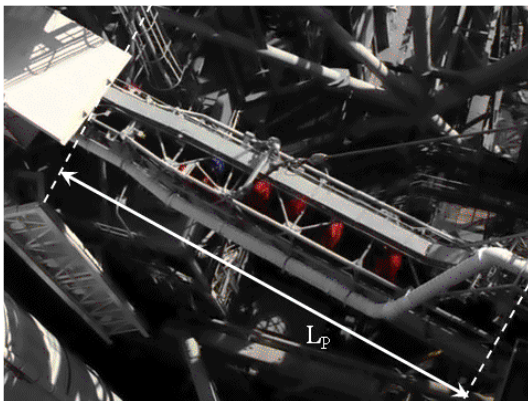


Figura 3. Estimación de L_P .

Con este dato, y la información de la Figura 5, que es una imagen de la película, se puede calcular el radio de giro R de las naves espaciales cuando quedan acopladas a la estación espacial rusa. De dicha figura,

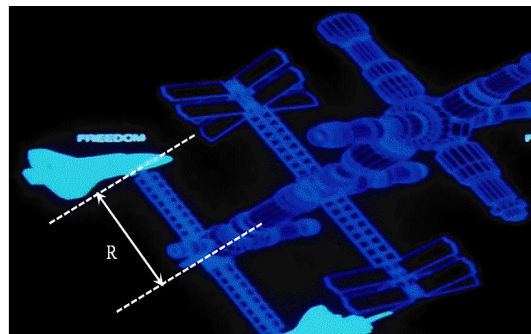


Figura 5. Estimación de R .

A partir de este dato, y midiendo el tiempo que transcurre entre las dos escenas que se muestran en la Figura 6 (que dura aproximadamente 5 segundos), de acuerdo con la inclinación de los brazos de la estación respecto a la vertical, se puede estimar la velocidad angular de rotación de la estación como:

$$\omega \cong 0,0768 \frac{\text{Rad}}{\text{s}}$$

con lo que la aceleración artificial de la gravedad provocada por la rotación de la estación espacial en la posición donde están ubicadas las naves da:

$$g_{\text{ARTIF}} = \omega^2 R \cong 0,10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

valor que está muy lejos de la aceleración de la gravedad terrestre. Sin embargo, en el resto de las escenas que transcurren dentro de la estación espacial, todos los astronautas caminan y corren como si estuvieran sometidos a la gravedad de la superficie terrestre. Pero hay un detalle todavía más grave y que posiblemente sea uno de los peores desde el punto de vista conceptual.



Figura 6. Estimación de la velocidad angular de rotación de la estación.

Cuando los astronautas de ambas naves se dirigen al encuentro del cosmonauta ruso, el mismo se produce en un punto ubicado sobre el eje de rotación. Allí la aceleración artificial es 0. Es decir, los astronautas deberían estar flotando en el interior de la nave. Sin embargo, ¡nada de esto se observa en la película!

Dejamos de lado por razón de brevedad cuestiones no despreciables tales como: discutir en qué dirección tendría que estar ubicado el piso por el que transitan los astronautas para que sientan el efecto de la gravedad en forma correcta.

Además, como se menciona en <http://www.malaciencia.info/2005/03/armageddon.html>:

“En la película, vemos varias tomas externas de la estación con las lanzaderas, e incluso se ve una animación esquemática de la situación en un monitor. Viendo el sentido de giro y dónde están las lanzaderas, es fácil ver que el "brazo" al que se ha acoplado es radial con respecto al giro. Es decir, que sigue la misma dirección que la fuerza centrífuga. Esto quiere decir que desde el punto de vista de los tripulantes de la lanzadera, es como si se tratara de un tubo vertical. Para ellos, el "abajo" sería la lanzadera, y el "arriba" sería el otro extremo del tubo. Además, tal y como está colocada la lanzadera, la fuerza centrífuga debería empujarles hacia uno de los costados. Sin embargo, en las tomas interiores, vemos que la "pseudo-

gravedad" está dirigida hacia el suelo de la lanzadera, y que el brazo es para ellos como un pasillo horizontal."

Vale la pena aclarar que los astronautas experimentan la fuerza centrífuga que menciona el autor del blog, porque como la estación espacial rota sobre su eje, es un sistema no inercial. Como es sabido, en este tipo de sistemas, aparecen fuerzas que no corresponden a la interacción entre objetos, sino que se trata de fuerzas ficticias por el carácter no inercial del sistema de referencia.

Algunas sugerencias para el trabajo en el aula

En un próximo artículo, se desarrollará con una propuesta didáctica articulada para aprovechar las excelentes oportunidades que brindan estas dos películas para un aprendizaje significativo de conceptos y leyes en el marco de la Mecánica Newtoniana con un nivel de formalismo matemático también al alcance de la escuela media.

A continuación señalamos algunas líneas generales que podrían orientar una propuesta de estas características:

- plantear problemas abiertos y/o conceptuales del tipo "en esta escena hay un error, encuéntralo y justifiquen por qué es un error"
- solicitar a los alumnos que busquen escenas de películas con errores y las compartan con sus compañeros, tratando de explicarlos.
- plantear que hagan cálculos para verificar si lo que se observa en las escenas se presenta en las dimensiones correc-

tas, o bien, aumentadas o disminuidas. En estos dos últimos casos, se podría repreguntar si variando determinadas condiciones o magnitudes de los objetos intervinientes podría llegarse a resultados correctos. Para ello tendrían que averiguar valores de magnitudes, o bien, efectuar estimaciones.

- solicitarles que rediseñen un conjunto de escenas de acuerdo con las leyes de la Física.

Consideraciones finales

La investigación en Didáctica de las Ciencias ha desarrollado un gran número de herramientas, conceptos y modelos que han demostrado ser fructíferos cuando se los ha aplicado con tales fines, sin embargo muchos de los cursos que se imparten en los dos primeros años universitarios siguen repitiendo esquemas que conducen al fracaso de muchos estudiantes.

Desde este lugar y por todas las razones expuestas, creemos que el desarrollo de propuestas basadas en lo que hemos introducido en este trabajo, dará lugar a mejores resultados.

En cuanto al marco teórico más adecuado para sustentarla, nos parece particularmente interesante el modelo MACCS planteado por Galagovsky en 2004.

En el transcurso del año entrante se articularán propuestas didácticas concretas para aprovechar estas herramientas en el aula, en dos de los cursos que uno de los autores de este trabajo tiene a cargo¹. Estas propuestas didácticas tendrán algunas de las características mencionadas anteriormente y se evaluará su impacto en la formación de los alumnos.

Notas

¹ *Física I*, para la carrera de Ingeniería Mecánica, que se dicta en la extensión áulica que la Universidad Tecnológica Nacional tiene en la ciudad de San Carlos de Bariloche, y *el Taller de Práctica Docente para la Enseñanza de las Ciencias Experimentales II*, para la carrera de Profesorado en Física de la Universidad Nacional de Río Negro, en la misma ciudad.

² El presente análisis se ha tomado del blog Mala Ciencia (www.malaciencia.info), modificando el valor de algunas magnitudes para efectuar los cálculos de modo de continuar con los valores que se vienen trabajando en este artículo.

Referencias

- Adúriz Bravo, A. e Izquierdo Aymerich, M. (2002). Acerca de la didáctica de las ciencias como disciplina autónoma. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* (sitio web:<http://www.saum.uvigo.es/reec/>) 1(3).
- Bain, K. (2007). *Lo que hacen los mejores profesores universitarios*. Universitat de València.
- Benegas, J. y Villegas, M. (2011). Influencia del texto y el contexto en la Resolución de Problemas de Física. *Latin American Journal of Physics Education*, 5 (1), 217-224.
- Britt, D. T., Yeomans, D., Housen, K, y Consolmagno, G. (2002) Asteroid Density, Porosity, and Structure. *Asteroids III*, Bottke Jr., W. F. Cellino, A. Paolicchi, P. y Binzel, R. P. (eds), Tucson: University of Arizona Press, 485-500
- Carretero, M. (2009a). *Constructivismo y Educación*. Primera edición. Buenos Aires: Paidós.
- Carretero, M. (2009b). Desarrollo cognitivo y aprendizaje. En *Constructivismo y Educación*, 37-104. Buenos Aires: Paidós.
- Ceberio Gárate, M., Guisasola Aranzabal, J. y Almudí García, J. M. (2005). Revisión de las investigaciones sobre propuestas didácticas en resolución de problemas de física, *Enseñanza de las Ciencias, Número extra*. VII Congreso Internacional sobre Investigación en Didáctica de las Ciencias, Granada.
- Ceberio Gárate, M, Guisasola, J. y Almudí, J. M. (2008). ¿Cuáles son las innovaciones didácticas que propone la investigación en resolución de problemas de física y qué resultados alcanzan? *Enseñanza de las Ciencias*, 26(3), pp 419-430
- Covián Regales, E. y Matachana, M. C. (2008). Diez años de evaluación de la enseñanza-aprendizaje de la mecánica de Newton en escuelas de ingeniería españolas. Rendimiento académico y presencia de preconceptos. *Enseñanza de las Ciencias* 26(1), pp 23-42.
- Cravino, J. P. y Lopes, B. J. (2003). La enseñanza de Física General en la Universidad. Propuestas de investigación. *Enseñanza de las Ciencias* 21 (3), 473-482..
- De Terán Riva, A. Blog “MalaCiencia”, <http://www.malaciencia.info/>
- Driver, R. Guesne, E. y Tiberghien, A. (1985). *Ideas Científicas en la Infancia y la Adolescencia*. Segunda Edición. Madrid: Ediciones Morata S.A.
- Dubeck, L. W. Moshier, S. E. Boss, J. E. (2003). *Fantastic voyages: learning science through science fiction films*; Springer.
- Follari, B.; Perrotta, M.T.; Dima, G.N.; Gutiérrez, E.E. (2011). Una aplicación del teorema de conservación de la energía como problema integrador. *Revista Brasileira de Ensino de Física* 33(1), 1311, pp 1-6.
- Galagovsky, L.R. (2004a) Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte 1: El modelo teórico. *Enseñanza de las Ciencias* 22(2), pp 229-240.

- Galagovsky, L.R.. (2004b) Del aprendizaje significativo al aprendizaje sustentable. Parte 2: Derivaciones comunicacionales y didácticas. *Enseñanza de las Ciencias* 22(3), pp 349-364
- García Borrás, F. J. (2005) Star Trek: Un viaje a las leyes de la Dinámica, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 2(1), 79-90
- García Borrás, F. J. (2008), Bienvenido mister cine a la enseñanza de las ciencias, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 6(1), 79-91
- García Borrás, F. J. (2011), Las escenas cinematográficas: una herramienta para el estudio de las concepciones alternativas de física y química, *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias* 8(3), 291-311.
- Gellon, G. Rosenvasser Feher, E. Furman, M. y Golombek, D. (2005). *Lo que nos dice la ciencia sobre como enseñarla*. Buenos Aires: Paidós.
- Gil Pérez, D. Macedo, B. Martínez Torregrosa, J. Sifredo, C. Valdés, P. y Vilches A. (editores) (2005). *¿Cómo promover el interés por la cultura científica? Una propuesta fundamentada para la educación científica de jóvenes de 15 a 18 años*. Santiago: Oficina Regional de Educación para América Latina y el Caribe. OREALC/UNESCO
- Lacolla, L. (2005). Representaciones sociales: una manera de entender las ideas de nuestros alumnos. *IeRed: Revista Electrónica de la Red de Investigación Educativa*, 1(3). En línea [3/12/2010]: <http://revista.iered.org/v1n3/pdf/llacolla.pdf>
- Llancaqueo Henríquez, Concesa Caballero Sahelices, A. M. y Alonqueo Boudon. P. (2007). Conocimiento previo en Física en Estudiantes de Ingeniería, *Enseñanza de las Ciencias* 25(2), 205-216.
- León, J. (2008). El cine como golosina. Reflexiones sobre el consumo de cine en los jóvenes. *Palabra clave*, 11(2), 311-325
- Palacios, S. (2008) *La guerra de dos mundos*. Robinbook.
- Palacios, S.: *Blog "Física en la Ciencia Ficción"*, <http://fisicacf.blogspot.com/>
- Plait, P.: *Blog "Bad Astronomy"*, <http://blogs.discovermagazine.com/badastronomy/>
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998a). ¿Por qué los alumnos no aprenden la ciencia que se les enseña? Cap. I de *Aprender y Enseñar Ciencia*, 17-32. Madrid: Ediciones Morata S.L.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998b). Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico, en *Del conocimiento cotidiano al conocimiento científico: más allá del cambio conceptual*. *Aprender y enseñar ciencia*, Cap. V. Madrid: Morata S.L.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998c). La solución de problemas en la enseñanza de la Ciencia. *Aprender y Enseñar Ciencia*, Cap. III, 70-75. Madrid: Ediciones Morata S.L.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998d). *Aprender y Enseñar Ciencia*, 70-75. Madrid: Ediciones Morata S.L.
- Pozo, J. I. y Gómez Crespo, M. A. (1998e). ¿Cómo motivar a los alumnos para aprender ciencia? En *Cambiando las actitudes de los alumnos ante la Ciencia: el problema de la (falta de) motivación*. *Aprender y Enseñar Ciencia*, Cap. II, pp 17-32. Madrid: Ediciones Morata S.L.
- Quirantes Sierra, 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.
- Quirantes Sierra, A. <http://fisicadepelicula.blogspot.com/>
- Rodríguez Moneo, M. y Huertas, J. A. (2000). Motivación y Cambio conceptual. *Tarbiya* 26, 51-71.
- Rogers, T. (2007). *Insultingly stupid movie physics*; Sourcebooks Hysteria.
- Santos Benito, J. V. y Gras-Martí, A. (2003). Conocimientos de física de alumnos universitarios. Influencia de las reformas educativas. *Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias* 2(2), 126-135.

- Solbes, J. (2009). Fundamentos y líneas de trabajo. Dificultades de aprendizaje y cambio conceptual, procedimental y axiológico (i): resumen del camino avanzado. *Revista Eureka Enseñanza y Divulgación en las Ciencias* 6(1), 2-20.
- Tatum, J. B., *Apuntes de Mecánica Celeste*, Departamento de Física y Astronomía de la Universidad de Victoria, Cánada, disponibles en <http://orca.phys.uvic.ca/~tatum/celmechs/celm13.pdf>.
- Viennot, L. (2002). Razonar en Física. La contribución del sentido común. Editado por Juan Ignacio Pozo. Madrid: Antonio Machado Libros S.A.
- Vigotsky, L. S. (1964). *Pensamiento y lenguaje*. Buenos Aires: Editorial. Lautaro.
- Weiner, A. (2007). *Don't try this at home: the physics of Hollywood movies*; New York: Kaplan Publishing.