



La enseñanza de la gravitación universal de Newton orientada por la historia y la filosofía de la ciencia: una propuesta didáctica con un enfoque en la argumentación

Teaching Newton's universal gravitation guided by history and philosophy of science: a didactical propose focusing on argumentation

Elder Sales Teixeira

Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Brasil; PPGEFHC/UFBA-UEFS
eldersate@gmail.com

Olival Freire Jr.

Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Brasil; PPGEFHC/UFBA-UEFS
freirejr@ufba.br

Ileana Maria Greca

Departamento de Didácticas Específicas, Facultad de Humanidades y Educación, Universidad de Burgos, España; PPGEFHC/UFBA-UEFS
ilegreca@hotmail.com

RESUMEN • Este trabajo presenta una propuesta didáctica para enseñar la gravitación universal de Newton (GU), orientada por la historia y la filosofía de la ciencia (HFC), para promover mejoras en la habilidad de argumentación de los alumnos. Esta propuesta es la culminación de un trabajo más amplio que ya produjo algunos resultados (Teixeira *et al.*, 2010a; Teixeira *et al.*, 2010b). La propuesta incluye algunos textos de referencia para su implementación, siendo uno de ellos presentado en la segunda sección de este trabajo, en donde se discute la estructura de argumentación de Toulmin (2006),¹ usada como referente sobre argumentación en nuestro trabajo. Presentamos finalmente una síntesis de la secuencia didáctica propuesta y los instrumentos de orientación y evaluación sugeridos para su implementación en la clase.

PALABRAS-CLAVE: gravitación universal de Newton; historia y filosofía de la ciencia; argumentación; enseñanza de la física; propuesta didáctica.

ABSTRACT • This paper presents a didactical proposal to teach Newton's universal gravitation (GU) guided by the history and philosophy of science (HPS) to promote improvements in students' argumentation skills. This proposal is the culmination of a larger work that has already produced some results (Teixeira *et al.*, 2010a; Teixeira *et al.*, 2010b). The proposal includes some reference texts for implementation, one of which is presented in the second section of the paper that discusses the Toulmin's layout of argument (Toulmin, 2006), which is the argumentation framework we have adopted in our work. Finally, this paper presents a synthesis of the didactical sequence and the tools for guidance and evaluation suggested for implementation in the classroom.

KEYWORDS: Newton's universal gravitation; history and philosophy of science; argumentation; physics teaching; didactical proposal.

Fecha de recepción: junio 2013 • Aceptado: noviembre 2014

* Programa de posgrado en Enseñanza, Filosofía e Historia de las Ciencias de la Universidad Federal de Bahia y Universidade Estadual de Feira de Santana, Bahia, Brasil. <<https://twiki.ufba.br/twiki/bin/view/PPGEFHC/WebHome>>

1. Publicado originalmente en 1958.

Teixeira, E. S., Freire, O., Greca, I. M. (2015) La enseñanza de la gravitación universal de Newton orientada por la historia y la filosofía de la ciencia: una propuesta didáctica con un enfoque en la argumentación. *Enseñanza de las Ciencias*, 33.1, pp. 205-223

INTRODUCCIÓN

En este trabajo partimos de la concepción de la ciencia como una actividad humana cuyo conocimiento es socialmente construido y que tiene la argumentación como uno de sus aspectos constitutivos esenciales. Tanto en el proceso de creación de la ciencia, como en su justificación, la argumentación ejerce un papel fundamental «como elemento estructural del lenguaje de la ciencia» (Jiménez-Alexandre *et al.*, 2000). La ciencia se produce, entre otras cosas, a partir del debate público, en el cual los científicos que desarrollan o usan teorías que compiten entre sí emplean la argumentación para posicionarse, defender sus ideas y oponerse a la de sus rivales, basándose en la concordancia entre los enunciados teóricos y las evidencias que tienen a su disposición.

Así, conforme señalan Naylor *et al.* (2007), «esta relación entre argumentación y ciencia sugiere que la argumentación debería ser una parte importante de la educación en ciencias». Por lo tanto, es necesario que los alumnos aprendan a argumentar para apropiarse del género del discurso científico y así puedan tener más herramientas para comprender mejor el contenido científico y su naturaleza (Driver *et al.*, 2000; Jiménez-Alexandre *et al.*, 2000; Capecchi y Carvalho, 2000; Munford y Zembal-Saul, 2002). Además, el desarrollo de habilidades argumentativas es deseable para el ejercicio de la ciudadanía en las sociedades democráticas contemporáneas.

De acuerdo con Erduran *et al.* (2004) las razones para la necesidad de propuestas didácticas focalizadas en promover mejoras en la habilidad de argumentación de los alumnos pueden ser de naturaleza epistemológica –a partir de la visión de una ciencia que avanza en el intento de solucionar conflictos– y también cognitiva –a partir de la perspectiva educacional sociointeraccionista extraída de Vigotski (2000).

Además de la necesidad de propuestas didácticas enfocadas en la argumentación, también son necesarias propuestas didácticas implementadas de enseñanza de la física con enfoques didácticos orientados por la historia y la filosofía de la ciencia (HFC). En relación con esto, aunque existe una amplia literatura que presenta argumentos de origen teórico sobre este tema, el número de investigaciones que estudian empíricamente las intervenciones didácticas con el uso de la HFC en las clases de física es relativamente escaso (Carvalho y Vannucchi, 1996; Teixeira *et al.*, 2012). Este trabajo ofrece una ayuda a los profesores que comparten la misma preocupación y pretenden hacer uso de la HFC en las clases de Física para tratar el tema de la gravitación universal de Newton (GU) con un enfoque destinado a mejorar las habilidades de argumentación de los alumnos. Aunque este artículo no trata del análisis empírico de esta propuesta, muestra sus fundamentos y organización.

ARGUMENTACIÓN EN LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: LA ESTRUCTURA DE TOULMIN

De acuerdo con la literatura en la enseñanza de las ciencias que trata de esta temática, el uso de actividades en clases para mejorar las habilidades de argumentación de los alumnos todavía es relativamente escaso (Abi-El-Mona y Abd-El-Khalick, 2006; Jiménez-Alexandre, 2010), aunque haya aumentado en las últimas décadas. Entre los trabajos con esta temática, una parte significativa utiliza como herramienta para analizar la estructura de argumentación la propuesta por Stephen Edelston Toulmin en su libro más importante: *Los usos del argumento* (Toulmin, 2006).² Sin embargo, una dificultad que podemos notar en esta literatura es la escasa discusión existente tanto en relación con los fundamentos que llevaron a Toulmin a proponer su estructura de argumentación como con la importancia de com-

2. Para tener una idea de la influencia de Toulmin, y en particular de este libro, en la filosofía de la segunda mitad del siglo xx, véase a Grimes (2009).

prender estos fundamentos para justificar debidamente la elección de dicha estructura como padrón de argumentación para la enseñanza de ciencias.

En este sentido, antes de presentar la propuesta didáctica de la cual trata este trabajo discutiremos en esta sección sobre las razones que el propio Toulmin establece en su libro (Toulmin, 2006) para elaborar su padrón de argumentación como un modelo apropiado para argumentar en la práctica y en diversos campos de conocimiento. Sintetizaremos su crítica a la forma silogística, considerada por los lógicos de la primera mitad del siglo xx como paradigma de la argumentación, y las limitaciones de esta. Posteriormente presentaremos la estructura propuesta por Toulmin discutiendo el significado y el papel de cada elemento constituyente de un argumento. Para cerrar esta sección, plantearemos las ventajas pedagógicas del uso del modelo de Toulmin en la enseñanza de las ciencias con enfoque en la argumentación.

Toulmin (2006) apunta que la lógica formal fue desarrollada a partir del estudio del silogismo analítico y que este fue adoptado por los lógicos formales, tales como Kneale, Strawson, Carnap, Hare y Prior, como paradigma en la búsqueda de padrones teóricos universales que sirviesen para analizar y evaluar argumentos provenientes de cualquier campo del conocimiento racional.

Los argumentos silogísticos son aquellos que tienen la forma:

Premisa menor	→	(premisa específica, del tipo «X es un A»)
Premisa mayor	→	(premisa general, del tipo «todos los As son Bs»)
Conclusión		(implicación derivada de asumir las dos premisas, del tipo «luego X es un B»)

Con esta forma de presentar los argumentos, los lógicos tradicionales, seducidos por su simplicidad y su carácter universal, querían establecer la validez del argumento a partir de su forma: la transformación que sufren las premisas para llegar a la conclusión –reagrupando los términos de las premisas en el término de la conclusión– aseguraría su validez (Toulmin, 2006).

Con el fin de explicar las críticas de Toulmin al uso paradigmático del silogismo por los lógicos formales, de una forma menos genérica y más contextualizada en una situación real de enseñanza, tomaremos como ejemplo un argumento extraído de una investigación realizada por Teixeira *et al.* (2010a).³ Esta investigación sobre una intervención de enseñanza de física que usaba un abordaje de HFC tenía por objetivo evaluar la calidad de la argumentación sobre la síntesis newtoniana (basada en la estructura de Toulmin) construida colectivamente, con la mediación del profesor, por alumnos de primer año de la licenciatura en Física. La parte del argumento que utilizaremos es la discutida en el episodio IV de dicho trabajo (véase Teixeira *et al.*, 2010a: 74-75), que trata del obstáculo enfrentado por Newton para introducir la noción de acción a distancia al proponer la idea de una fuerza que actúa sin contacto entre los cuerpos, idea que fue combatida por parte de los adversarios contemporáneos de Newton.

La parte del argumento construido por los alumnos será reescrita aquí para hacer más clara la explicación de la estructura de Toulmin y de sus críticas a la manera silogística de argumentar. Para ello, después de presentar la estructura con el ejemplo, reduciremos el argumento a una manera silogística. Luego esclareceremos las dificultades encontradas en esta reducción para analizar el argumento y mostraremos las ventajas del análisis hecho a partir de la estructura de Toulmin.

3. Este trabajo se encuentra disponible en portugués en la página: <http://www.if.ufrgs.br/ienci/artigos/Artigo_ID229/v15_n1_a2010.pdf>.

El mencionado argumento, expresado en términos de la estructura de Toulmin, puede ser reescrito de la siguiente forma:

- 1.º Dado que la interacción gravitacional entre los cuerpos es de naturaleza mecánica;
- 2.º una vez que las fuerzas mecánicas de interacción pueden ocurrir sin contacto,
- 3.º lo que está de acuerdo con los resultados de los cálculos teóricos de Newton,
- 4.º se concluye que las interacciones gravitacionales son de acción a distancia.
- 5.º Entretanto, si las fuerzas mecánicas son de contacto, como pensaban los mecanicistas cartesianos, las interacciones gravitacionales no son de acción a distancia.

Para describir, en los términos de la estructura de Toulmin, el argumento usado por Newton para introducir la gravitación es necesario realizar una simplificación significativa del proceso histórico concreto a través del cual este argumento fue elaborado. En ese sentido, el argumento que presentamos se aproxima a las reconstrucciones racionales defendidas por el filósofo Imre Lakatos (1970). El proceso histórico concreto fue mucho más rico y complejo, envolviendo, por ejemplo, inspiraciones que resultaron de los trabajos alquímicos de Newton. Una buena introducción a este proceso histórico más complejo se encuentra en la biografía de Newton escrita por Richard Westfall (1980).

La estructura de Toulmin (2006) nos permite distinguir los diferentes elementos del argumento, así como sus funciones en este: *datos* (*D*), *justificaciones* (*J*), *fundamentos* (*F*), *conclusiones* (*C*), *calificadores* (*Q*) y *refutaciones* (*R*). Así, el fragmento 1 de este argumento se identifica como *dato* (*D*),⁴ la base fáctica a partir de la cual se llega a una afirmación.

En el argumento bajo evaluación, el fragmento 4 representa la *conclusión* (*C*), la afirmación hecha a partir de (*D*) y cuyos méritos se busca establecer. Entretanto, el *dato*, por si solo, no es suficiente para apoyar la *conclusión*, ya que se podría legítimamente cuestionar: «¿qué nos garantiza que ese *dato* conduce a esa *conclusión*?». O, de otra manera, «¿cómo se puede justificar el paso de *D* a *C*?». Los *datos* adicionales no responderían a esta pregunta ya que llevarían a un proceso de inducción, no quedando exentos de los mismos cuestionamientos. Se debe, entonces, usar una información general hipotética que autorice el «paso», o sea, una *justificación* (*J*).⁵

D y *J* tienen funciones distintas en la estructura del argumento. El primero tiene la función de responder a la pregunta «¿Qué información fáctica tenemos a nuestra disposición para llegar a *C*?», y el segundo tiene la función de responder a la pregunta «¿Cómo se puede llegar a *C* a partir de *D*?» o «¿Qué idea general autoriza este paso?». En el ejemplo, esa idea general está expresada en el fragmento 2. Las *justificaciones*, por lo tanto, son generales e incluyen, en la misma categoría del argumento en cuestión, los *datos* que son específicos, fácticos. En el ejemplo, la categoría de las fuerzas mecánicas incluye la interacción gravitacional, y la proposición general de que las fuerzas mecánicas pueden ocurrir a distancia incluye el caso específico de la interacción gravitacional por el hecho de ser mecánica.

La autoridad de una *justificación* puede ser también cuestionada en el sentido de determinar si es aceptable como idea general. Aquello que evalúa la legitimidad de una *justificación*, que autoriza una *conclusión* a partir de un *dato*, es el *fundamento* (*F*). *F*, por lo tanto, es el apoyo necesario (una credencial) para establecer *J* y puede ser de naturaleza legal, taxonómica, estadística, etc., o sea, es dependiente del campo de conocimiento en el cual se está argumentando (Toulmin, 2006). Diferente de las afirmaciones generales contenidas en *J*, el *fundamento* trae informaciones categóricas de hecho. En el caso de la argumentación científica, *F* puede ser encontrado en los cánones de la ciencia específica de la cual trata el argumento (leyes y teorías aceptadas por la comunidad científica), al contrario de la

4. Jiménez-Aleixandre (2010) hace uso del término *pruebas* en lugar de *datos*, pero hemos decidido usar los términos del propio Toulmin.

5. Jiménez-Aleixandre y Gallástegui (2011) nos alertan sobre la traducción inadecuada del término original en inglés *warrant* como *garantía* y usan el término *justificación*.

justificación, que trata de ideas genéricas que no están presentes en los mismos cánones. En el ejemplo, *F* está representado en el fragmento 3.

Para completar el argumento, es necesario dejar claro el grado de fortaleza de la conclusión obtenida a través de algún término *calificador* (*Q*) como, por ejemplo, «necesariamente», «probablemente», «posiblemente», «supuestamente», entre otros. *Q* es una condición específica en el argumento e indica el límite en el que se puede considerar como válida la *conclusión*. En el ejemplo, no aparece explícito ningún *calificador*. También es necesario explicitar las condiciones de excepción que funcionan como una *refutación* (*R*) según la cual la *justificación* deja de ser válida y, por lo tanto, no se puede autorizar la *conclusión* a partir del *dato*. En el ejemplo, *R* está expresado en el fragmento 5. Por lo tanto, se puede resumir la estructura de un argumento así: *J*, una vez aprobado por *F*, autoriza a *C*, obtenida a partir de *D*, siendo considerado *Q*, a menos que haya *R* (Toulmin, 2006).

Usando esa estructura como instrumento de análisis es posible identificar los elementos constituyentes del argumento presentes en la argumentación construida y, en la medida de lo posible, avanzar en el análisis identificando la función que cada elemento ejerce en el argumento, disminuyendo la posibilidad de ambigüedades en el análisis.

Por otro lado, siguiendo la crítica de Toulmin a los lógicos formales, se puede hacer un intento de reducir el argumento de la manera silogística. Así, el mismo podría ser expresado de la siguiente forma:

La interacción gravitacional es mecánica	→ (premisa menor)
Interacciones mecánicas suceden a distancia	→ (premisa mayor)
Luego, la interacción gravitacional es de acción a distancia	→ (conclusión)

Toulmin (2006) hace una crítica al uso paradigmático del silogismo mostrando que esta forma de argumentar está muy simplificada y esconde ciertas complejidades inherentes al argumento que son importantes para su análisis y, con esto, se omiten también los propios defectos y limitaciones del modo silogístico de argumentar comprometiendo la validez del argumento. La forma silogística, que no explicita esos elementos del argumento, termina por clasificar equivocadamente como premisa mayor aquello que estaría expresado en la *justificación* y en el *fundamento*. De esta forma esconde las diferencias importantes entre estos elementos y sus funciones en el argumento, tratando como iguales cosas que tienen naturaleza y función diferentes en la estructura del argumento.

La premisa mayor «interacciones mecánicas suceden a distancia» podría ser interpretada en términos de la *justificación*, o sea, una idea general de que las interacciones mecánicas se producen sin contacto, autorizando el paso que va del hecho de que la interacción gravitatoria es de naturaleza mecánica a la conclusión de que la interacción gravitatoria es de acción a distancia, sin un apoyo explícito para ello. En este caso, los supuestos implican necesariamente la conclusión y el argumento es formalmente válido. Por otro lado, este supuesto podría interpretarse en términos del *fundamento*, si consideramos que los resultados de los cálculos teóricos de Newton afirman que si, de hecho, la interacción gravitatoria es de naturaleza mecánica, esta interacción es de acción a distancia. De esta forma la premisa mayor puede servir como un apoyo, incluso sin la *justificación* declarada.⁶ Sin embargo, en este caso, la hipótesis no implica necesariamente la conclusión y el argumento no es formalmente válido. Hay, pues, una ambigüedad en el resultado del análisis de la argumentación: puede ser o no ser formalmente válido. Por lo tanto, conforme a Toulmin (2006), al no explicar la naturaleza y función de la premisa

6. Cabe señalar que los alumnos que construyeron este argumento incluyeron los «cálculos» efectuados por Newton en los datos empíricos, que resultaron de observaciones. Es un hecho que Newton no hizo estas observaciones, pero utilizó esos datos en los cálculos.

mayor en la forma silogística de presentar el argumento se llega a una ambigüedad en su interpretación (véase figura 2).

Un punto importante en esta crítica de Toulmin se refiere a la «invariancia de campo» con relación a la forma del argumento (que es la «fuerza» de los argumentos analíticos expresados en la *justificación*) y a la «dependencia de campo» con relación al contenido del argumento (que constituye la solidez de los argumentos sustanciales expresados en el *fundamento*). Justamente, la forma de la lógica tradicional «todos los A son B», que expresa la premisa general de un silogismo, ayuda a ocultar la distinción entre argumentos analíticos y sustanciales (Toulmin, 2006).

Si, en un silogismo, la premisa general se expresara en términos de una *justificación* –por ejemplo, en la forma «una A es sin duda un B» o «usted puede asumir que una A es un B»–, las dos premisas (general y específica) implicarían necesariamente la conclusión y, por lo tanto, el argumento es formalmente válido (la conclusión está presente en las premisas). Este tipo de argumento se denomina de argumento analítico. La «fuerza» del argumento está dada por su forma y este, a su vez, es válido para cualquier área del conocimiento, por lo que es «campo invariante». Así, el argumento analítico fue aceptado por los lógicos formales paradigmáticamente como un criterio universal de los juicios de argumento en cualquier campo.

Colocamos como ilustración un ejemplo extraído del propio libro de Toulmin:

- D: Petersen es sueco;
- J: un sueco no es, con certeza, católico romano;
- C: luego, con certeza, Petersen no es católico romano.

La fuerza del argumento está en la forma, donde C es obtenido directamente de la reagrupación de D con J, forma esta que es válida para argumentos en cualquier campo de conocimiento. Se trata, por lo tanto, de un argumento analítico.

Por otro lado, si la premisa general se expresa en términos de *fundamento* –por ejemplo, en la forma «se han registrado tantos % de A que son B» o «estaba establecido por ley que algunos A son B»–, las dos premisas no implicarían necesariamente la conclusión y el argumento no sería formalmente válido (la conclusión no se deriva directamente de una reorganización textual de las premisas). Este tipo de argumento se llama argumento sustancial y su «fuerza» no está dada por la forma (puesto que el argumento no es formalmente válido), sino por la solidez de las informaciones expresadas en el *fundamento*, que son específicas de cada campo de conocimiento. Cada campo establece sus fundamentos, y los argumentos propios de los diferentes campos necesitan diferentes fundamentos, por lo que el argumento es «campo-dependiente». Ejemplos de *fundamento* en la física son sus cánones, tales como las leyes de Newton, las ecuaciones de Maxwell, la ecuación de Schrödinger, etc., y ejemplos en el derecho son las leyes establecidas por la constitución de cada país.

El ejemplo anterior se podría describir, reemplazando J por F, en la forma:

- D: Petersen es sueco;
- F: la proporción de suecos católicos romanos es cero;
- C: luego, con certeza, Petersen no es católico romano.

Ahora, la fuerza del argumento no está en la forma, puesto que no se puede obtener C a partir de la reagrupación de D con F. La fuerza está, por lo tanto, en la solidez de un dato estadístico, de naturaleza factual, expresado en F, y que es propio de este campo. Se trata, por lo tanto, de un argumento sustancial.

Por lo tanto, según Toulmin, los *datos*, las *conclusiones*, las *justificaciones*, los *fundamentos*, los *calificadores* y las *refutaciones*, categorías genéricas del análisis entendidas como elementos de la argumen-

tación, son «campo-invariantes», es decir, todo argumento racional (sea de la ciencia, del derecho, de la política, etc.) presenta tales elementos y estos, en su forma, se relacionan entre sí con la estructura de Toulmin. Sin embargo, los contenidos, los significados de cada elemento y como estos contenidos se relacionan entre sí, son «campo-dependientes», es decir, los elementos de un argumento científico y sus relaciones internas son de distinta naturaleza que los elementos y sus relaciones internas de un argumento que deriva del derecho y así sucesivamente.

Así, para Toulmin, no se sustenta la idea de que la validez de un argumento dependa solo de sus propiedades formales, rechazando cualquier criterio universal de juicio en la argumentación práctica. El argumento, para ser legítimo, no tiene por qué ser estrictamente necesario, contundente y definitivo; quien define los criterios para la validación de un argumento es la comunidad de especialistas en cada campo. Las categorías de discusión, por lo tanto, son evaluadas por estos criterios.

El silogismo, al centrarse solamente en los aspectos formales, no permite explícitamente la distinción entre diferentes tipos de argumentos. En las palabras del propio Toulmin:

A menos que tengamos el trabajo de expandir estas afirmaciones, a fin de ver si afirman justificaciones o el apoyo para las justificaciones, no hay manera de darse cuenta de la gran variedad de argumentos que se presentan en la forma silogística tradicional; tenemos que explicar la distinción entre el apoyo y la justificación en todo caso, si queremos estar seguros del tipo de argumento con el que estamos trabajando (Toulmin, 2006: 179).⁷

El ejemplo anterior puede escribirse según la estructura de Toulmin como aparece en la figura 1, en la que se explicita cada elemento del argumento evitándose así la ambigüedad (Toulmin, 1958).

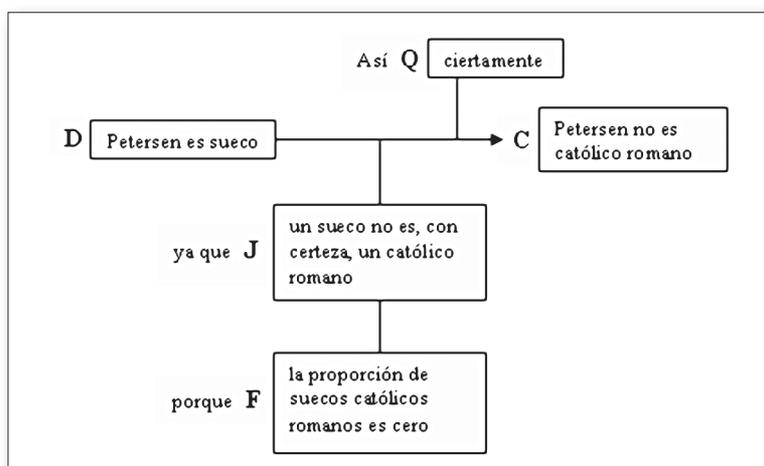


Fig. 1. Layout de Toulmin para el argumento del ejemplo amb a

El modelo tradicional es más sencillo que la estructura de Toulmin, pero esta simplicidad es peligrosa porque no tiene en cuenta la evaluación adecuada de los argumentos en los diferentes campos, no sustentándose la idea de que todas las especies de argumentos deban ser sometidas al mismo patrón de análisis. A continuación, en la figura 2, se presenta un resumen de la discusión anterior y la ambigüedad presentada por el silogismo en el análisis de la argumentación.

7. Texto traducido de la versión en portugués de Toulmin (2006).

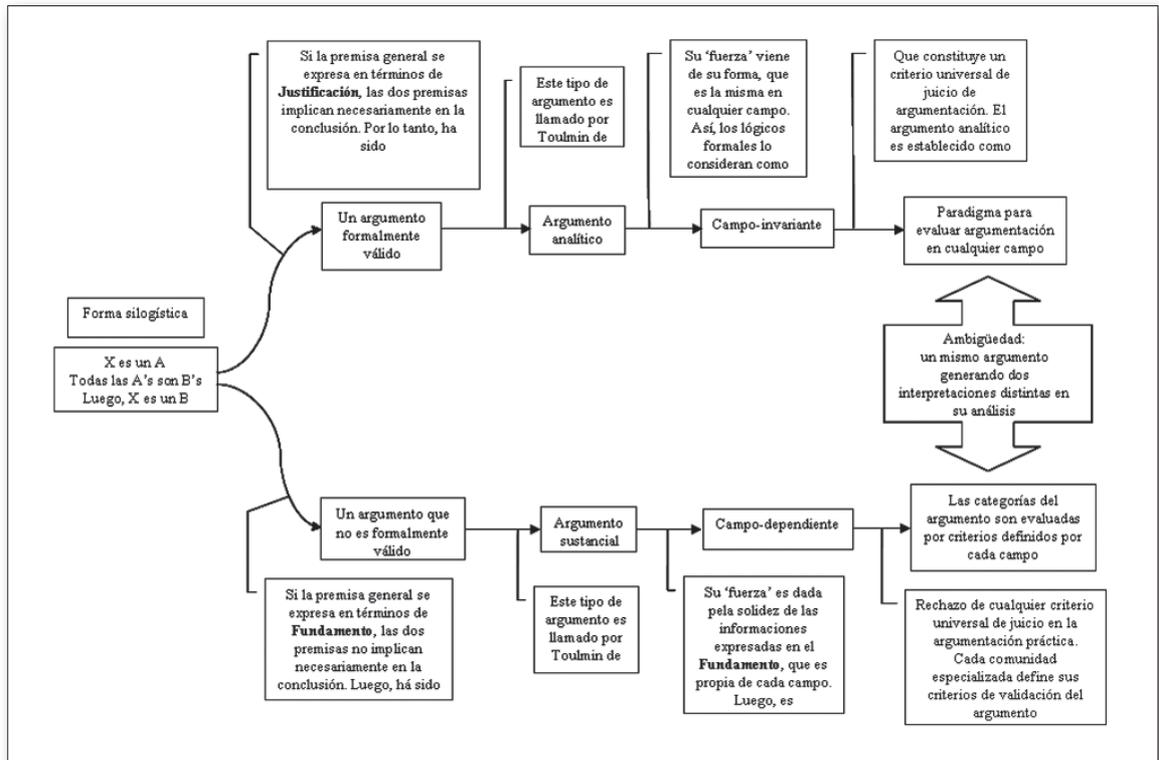


Fig. 2. Ambigüedad presentada por el silogismo en el análisis del argumento

ARGUMENTACIÓN COLECTIVA

Según Stamovlasis *et al.* (2006), una de las áreas más fértiles de la investigación en educación en las últimas décadas es la que estudia estrategias de enseñanza para promover actividades en las que los estudiantes trabajan en pequeños grupos con el fin de compartir ciertos objetivos de aprendizaje. Los resultados de esta investigación han presentado evidencia sustancial que indica la eficacia de este tipo de estrategia con respecto al desempeño de los estudiantes en comparación con las estrategias centradas en las actividades individuales. Los autores también hacen hincapié en que las estrategias que promueven las actividades grupales han sido ampliamente utilizadas, con variados formatos, en todos los niveles educativos.

En general, las estrategias de enseñanza dirigidas a promover las actividades en grupo se basan en las teorías psicológicas, como la teoría de Lev Vigotski, que concibió la idea de que el conocimiento es construido por el sujeto a través de un proceso de interacción social (Stamovlasis *et al.* 2006; Rego, 2000; Vigotski, 1934/2001). Desde esta perspectiva, para que se consiga de manera satisfactoria tanto desarrollo cognitivo como aprendizaje en los estudiantes, es inevitable que participen en actividades de grupo que promuevan la argumentación a través del diálogo, el debate, la confrontación de ideas, la colaboración, la permutación de roles y responsabilidades, de modo que haya interacción social para el intercambio de capacidades y de conocimientos (Rego, 2000). Hay una amplia literatura que discute a través de trabajos empíricos el uso de la argumentación colectiva en clases de ciencias (Vollmer, 1997; Jiménez-Aleixandre *et al.*, 2000; Driver *et al.*, 2000; Brown, 2007; Krummheuer, 2007; Cross *et al.*, 2008).

La propuesta didáctica que presentamos en este trabajo se insiere en esta perspectiva que, además de las razones teóricas ya mencionadas en la introducción, también se justifica por los resultados empíricos encontrados en su aplicación con estudiantes de la licenciatura nocturna en Física⁸ de la Universidade Federal da Bahia, Brasil (Teixeira *et al.*, 2010a). Los resultados de dicha implementación llevaron a los autores a desarrollar una serie de mejoras que culminaron con la propuesta que se describe a continuación con mayor detalle.

UNA PROPUESTA DIDÁCTICA

El objetivo general de la secuencia didáctica que proponemos es presentar la GU de Newton a partir de una estrategia de enseñanza guiada por la HFC que enfatiza la construcción colectiva por parte de los alumnos de un argumento acerca de la síntesis newtoniana. Hemos elegido el tema de la GU de Newton porque muchas veces este tema no se valora de forma apropiada en los libros de texto (Freire *et al.*, 2004) y, en el caso de la escuela secundaria de Brasil, a menudo es simplemente abandonado a pesar de su importancia.

Consideramos que la propuesta puede contribuir a la enseñanza de la física en los siguientes aspectos:

1. proporcionar a los estudiantes una visión general del papel de la argumentación en la construcción de la ciencia;
2. presentar la estructura de argumentación de Toulmin (sus elementos constitutivos y las funciones que realizan en el argumento como un todo) como un buen ejemplo de estructura para desarrollar y evaluar un argumento;
3. discutir el tema de la GU de Newton a partir de una narrativa histórica que contrasta las interpretaciones de dos de los principales expertos en estudios newtonianos sobre los caminos científicos de Newton hacia la GU, lo que puede ser beneficioso al posibilitar la construcción de una imagen más crítica de la ciencia por los estudiantes;
4. explicitar los procesos de transformación del pensamiento en Newton al examinar el papel del experimento mental de la «caída de la Luna», que usó para corroborar la idea de la acción a distancia que más tarde le condujo a la GU, contribuyendo también al desarrollo de una visión más crítica de la ciencia;
5. presentar, en términos generales, una discusión sobre el papel de la GU de Newton para comprender la síntesis newtoniana;
6. proporcionar a los estudiantes la oportunidad de trabajar en grupos para producir una argumentación colectiva sobre la GU de Newton.

La propuesta se dirige inicialmente a estudiantes universitarios⁹ de las disciplinas de Física que abordan los problemas de la física newtoniana, en particular, la GU, y que utilizan la HFC en su enfoque de la enseñanza.¹⁰ Además de ser guiada por una visión sociointeraccionista, la propuesta tiene en consideración los resultados de la síntesis de investigaciones sobre el uso de la HFC en clases de Física realizada por Teixeira *et al.* (2012). Esta síntesis permitió identificar varias formas de usar la HFC en la enseñanza de la física, que pueden agruparse en tres bloques:

8. Las licenciaturas en Brasil corresponden a los cursos de formación de profesores para la enseñanza secundaria.

9. Con los ajustes y adaptaciones necesarios parece ser posible, en principio, que la propuesta sea viable en las clases de Física en la escuela secundaria. Sin embargo, este aspecto no se aborda en este trabajo.

10. Hay universidades brasileñas en las que se enseñan disciplinas con esta naturaleza como, por ejemplo, la Universidade Estadual de Feira de Santana, la Universidade Federal da Bahia y la Universidade Federal de Santa Catarina.

- (i) objetivos –el uso de la HFC en la enseñanza de la física puede servir para alcanzar comprensión conceptual, visiones más actualizadas sobre la naturaleza de las ciencias, actitudes más positivas en relación con la ciencia y habilidades de argumentación y metacognitivas;
- (ii) estrategias de enseñanza –el uso de la HFC en la enseñanza de la física puede ser realizado de forma integrada o no integrada con el contenido de física;
- (iii) materiales didácticos –el uso de la HFC en la enseñanza de la física puede ser realizado con el auxilio de narrativas históricas, artículos originales, biografías, réplicas de experimentos históricos, problemas históricamente contextualizados, vídeos e historias cortas sobre la vida de científicos.

La presente propuesta didáctica se sitúa en la perspectiva de usar un abordaje de la HFC para alcanzar mejoras en la habilidad de la argumentación y promover una mejor imagen de la ciencia con una estrategia de enseñanza que integra el contenido conceptual de la GU de Newton con su desarrollo histórico y que utiliza, como materiales didácticos, textos del tipo de narrativas históricas.

La secuencia didáctica propuesta está prevista para ser realizada en 12 clases, considerando la duración de cada clase de 50 minutos. Vale la pena mencionar que esta secuencia debe aparecer como el último eslabón de una serie de contenidos abordados histórica y epistemológicamente, que van del origen de la astronomía en la antigüedad, la física aristotélica y la cosmología, las disputas entre los dos sistemas cosmológicos de la antigüedad, la física medieval, el trabajo de Copérnico, Bruno, Brahe, Kepler, Galileo, Descartes, Huygens, hasta la consolidación de la mecánica newtoniana, en la que la síntesis de Newton, con la introducción de la idea de la fuerza de la gravedad, se presenta como un segmento final de la revolución copernicana.

El orden en el cual aparecen los diferentes elementos en la secuencia didáctica está relacionado con la secuencia histórica de los hechos y con un grado creciente de complejidad de los temas. Así, en primer lugar, se discuten los caminos conceptuales trazados por Newton para la GU, luego el papel del experimento mental de la «caída de la Luna» como test de la idea de acción a distancia y, finalmente, en un proceso de generalización, la construcción de su síntesis. Aunque idealmente esta secuencia deba ser parte de un curso más largo dedicado a la revolución copernicana, nos parece que puede ser utilizada en cursos regulares de Física general en la introducción del concepto de fuerza gravitacional, siendo necesario, sin embargo, que, en una lección preliminar, sea contextualizado el desarrollo de la física y de la astronomía anteriores a Newton. Es preciso dejar claro también que se trata de una secuencia didáctica aún no puesta en práctica, por lo que no ha sido debidamente evaluada. Sin embargo, como ya se ha señalado, es una secuencia didáctica mejorada a partir de los resultados obtenidos de la implementación de una versión anterior.

La secuencia didáctica consiste en una serie de actividades que incluyen la presentación y lectura de los temas, los debates en pequeños grupos de estudiantes y las discusiones entre los grupos con la mediación del profesor (como se resume en el diagrama de la figura 3), dentro de la perspectiva sociointeraccionista vigotskiana.

Las actividades en el aula están precedidas por las lecturas de textos previamente propuestos y proporcionados por el profesor para que los alumnos lean en casa y preparen la discusión de estos antes de cada clase. También es esencial que el profesor mapee las ideas previas de los alumnos en relación con el contenido y con aspectos de la naturaleza de la ciencia que van a ser abordados en la secuencia. Esta información debe ser tenida en cuenta por el profesor en la aplicación de las actividades. Para estudiar las concepciones previas de los estudiantes en relación con el concepto newtoniano de la GU y la naturaleza de la ciencia, se sugieren los cuestionarios *A* y *B* respectivamente, que aparecen en el anexo. Esto constituye una de las mejoras de esta propuesta en relación con su versión anterior: en la intervención conducida por Teixeira *et al.* (2010a) no fueron estudiadas las concepciones previas de los alumnos,

por lo que no fue posible evaluar si la intervención conducía a cambios en sus conceptos físicos e ideas acerca de la naturaleza de las ciencias.

Las dos primeras sesiones están destinadas a discutir con los estudiantes el papel y la importancia de la argumentación en la ciencia, de forma que aprendan a preparar y a evaluar correctamente un argumento científico. Para ello, la estructura de Toulmin es presentada y discutida a través de tres textos: el texto 1, que es el capítulo tres del libro del propio Toulmin (2006), en el que el autor presenta su diseño de la argumentación mediante la identificación de sus elementos constitutivos y sus funciones en el argumento; el texto 2, que es el artículo de Kuhn (1993) en el que se analiza la relación entre el pensamiento científico y la argumentación al discutir el papel de la ciencia como argumento, y el texto 3, que es «Argumentación en la Enseñanza de las Ciencias: la estructura de Toulmin» (sección 2 de este artículo), que está diseñado para ser parte de la propuesta didáctica como una forma de ayudar a los estudiantes en la comprensión de la estructura de Toulmin y de las razones que le llevaron a proponer esa manera de estructurar un argumento en contra de la forma propuesta por los lógicos formales. En la clase 1 también son evaluadas las concepciones previas de los estudiantes a través de los cuestionarios *A* y *B*.

Las sesiones 3 y 4 se dedican a discutir las etapas del desarrollo del pensamiento de Newton sobre la mecánica celeste en los diversos momentos en los que se ocupó de este tema. Para ello, se enfrentan, en el texto dado a los alumnos (texto 4: Teixeira *et al.*, 2010b),¹¹ las posiciones de Cohen (1983; 1988) y Westfall (1971; 1995) sobre los siguientes puntos:

- (i) el retraso de Newton en anunciar la ley de la GU. Según Cohen (1983; 1988), este atraso fue de aproximadamente 15 años debido a su frustración frente a los intentos de encontrar una correspondencia entre la «potencia» en la órbita de la Luna y la gravedad local terrestre. Para Westfall (1971), sin embargo, este atraso se prolongó cerca de 20 años, pues para este autor, la correspondencia de Newton con Hooke entre 1679 y 1680 no representó una vuelta a los estudios de mecánica, como afirma Cohen (1983; 1988);
- (ii) el papel de las leyes de Kepler en la deducción de la ley. Para Cohen (1983: 272) fue a partir de la correspondencia con Hooke como Newton comprendió el significado físico de las leyes de Kepler, transformándolas «de simples reglas cinemáticas o descriptivas a principios dinámicos o causales»;
- (iii) la influencia del concepto de «tendencia centrífuga» de Descartes. Newton pasó de la idea de «tendencia centrífuga» para la concepción de «fuerza centrípeta». La idea de la tendencia centrífuga estaba asociada a la materia en general, mientras que la de fuerza centrífuga estaba asociada a la acción de un cuerpo sobre otro;
- (iv) las transformaciones del pensamiento de Newton en cuanto al concepto de fuerza. Por ejemplo, en las revisiones de los *Principia*, Newton empleó, por primera vez, el término «fuerza centrípeta», lo que es simbólicamente significativo, pues al oponerse a la idea de «fuerza centrífuga», simbolizó un importante cambio conceptual para la comprensión del movimiento orbital. Este cambio abrió las puertas para la dinámica moderna al mostrar que el movimiento orbital es de la misma naturaleza que el movimiento rectilíneo acelerado (Westfall, 1971)
- (v) la deuda de Newton a Hooke. Esta deuda es mayor con la hipótesis de la combinación de la fuerza central con la componente inercial (tangente a la órbita) que con la ley de la fuerza $1/R^2$, que Hooke tanto reivindicó. Aunque Hooke haya sido quien presentó a Newton esta ley, no estaba preparado para deducir sus consecuencias. Newton, a su vez, si no hubiese conocido la ley a través de Hooke seguramente la habría podido conocer, pues esta ley sería fácilmente deducible de la expresión de fuerza centrífuga de Huygens. Por otro lado, la nueva hipótesis

11. Este trabajo se encuentra disponible en portugués en la página web: <<https://periodicos.ufsc.br/index.php/fisica/article/view/2175-7941.2010v27n2p215/13490>>.

- formulada por Hooke, hasta entonces no conjeturada por nadie, fue la gran contribución que legó a Newton para su cambio de concepción (Cohen, 1988; Westfall, 1971). La sutil diferencia entre las interpretaciones de Cohen y Westfall, en este caso, reside en la valoración de esa deuda. Mientras el primero enfatiza la importancia del trabajo matemático de Newton, el otro valoriza más el papel de la hipótesis de Hooke en el cambio conceptual de Newton;
- (vi) la discusión realismo frente a instrumentalismo. Cohen interpreta que Newton adoptó una postura instrumentalista con relación a su concepto de fuerza: «La llave del pensamiento creativo de Newton, en la mecánica celeste, no fue considerar que las fuerzas fuesen propiedades reales [...], sino que pudiese examinar las condiciones y propiedades de tales fuerzas como si fuesen reales» (Cohen, 1983: 276). Por el contrario, Westfall considera que a las propiedades reales de la materia, que según el mecanicismo cartesiano consistían en extensión y movimiento, Newton le adiciona el concepto de fuerza (atracción y repulsión), proponiendo así «una adición a la ontología de la naturaleza» y, asumiendo una postura realista, «trató a las fuerzas como entidades que realmente existen» (Westfall, 1971: 377);
 - (vii) la controversia sobre la manifestación del «problema de Halley» inverso, y
 - (viii) el papel de la tercera ley de Newton en la construcción de la dinámica planetaria. En el texto que se les da a los alumnos también son presentadas las trece primeras proposiciones de la Sección II del Libro I de los *Principia*, especialmente la proposición IV que «abre», en lenguaje matemático contemporáneo, las cuentas implicadas. Todos estos aspectos del desarrollo de la GU de Newton se discuten cuidadosamente en el texto 4 (Teixeira *et al.*, 2010b) y por ello la elección de ese texto para ser usado en la secuencia didáctica. Destacamos que la elaboración de este material provino de la insatisfacción de los autores con relación a cómo la GU de Newton es presentada en los libros de texto, incluidos los que utilizan métodos de investigación histórica para presentar ese contenido.

En la secuencia didáctica, el debate sobre este tema se realiza en pequeños grupos de cuatro o cinco estudiantes. Después de leer el texto, que debe hacerse antes de las clases, los estudiantes se reúnen en grupos para discutirlo, guiados por el cuestionario *C* (anexo) proporcionado por el profesor, en el que se hace hincapié en los puntos importantes en relación con las cuestiones mencionadas en el párrafo anterior. Con esto se espera que los estudiantes desarrollen una comprensión conceptual del tema para discutir con otros grupos.

En las clases 5 y 6 se realiza una discusión abierta entre los grupos sobre el mismo tema (con uso del texto antes indicado y el cuestionario *C*). Cada grupo hace una breve presentación exponiendo las ideas principales y conclusiones a las que hayan llegado en la discusión hecha en su grupo en las dos clases anteriores. La discusión está abierta en el sentido de que todos los grupos pueden intervenir complementando o manifestando su desacuerdo con la posición de otro grupo.

El profesor debe desempeñar el papel clave de mediador controlando las actividades de los grupos de discusión, haciendo preguntas a cada grupo con el fin de permitir la mejora de las intervenciones y las respuestas o interferir, en su caso, con la autoridad del discurso de la ciencia, para resolver preguntas y crear un resultado final de toda la discusión. El profesor debe conducir intencionalmente la realización de las actividades a través de un enfoque comunicativo, de forma que sus interacciones en la clase oscilen desde el tipo interactivo/dialógico a interactivo/de autoridad a no interactivo/de autoridad, conforme se encuentra en Teixeira *et al.* (2010a) y en Mortimer y Scott (2002). O sea, debe incentivar la producción de patrones de interacción triádicos y no triádicos (véase Mortimer y Scott, 2002). En el final de la sexta sesión debe ser producido un argumento colectivo con la estructura de Toulmin, a partir de las contribuciones de los grupos y con la mediación del profesor, sobre el desarrollo del pensamiento de Newton relacionado con la mecánica celeste.

Las clases 7 y 8 se dedican a la discusión en grupos sobre la experiencia mental de la «caída de la Luna» de Newton (también conocida como «la prueba de la Luna») y su papel en el desarrollo de la GU. La idea es discutir la demostración formulada por Newton en la proposición IV del libro III de los *Principia*. Esta demostración aparece cuidadosamente presentada en Freire *et al.* (2004) y por ello fue escogido ese texto (texto 5) para ser usado en estas clases de la secuencia didáctica. Se trata de un experimento de pensamiento en el cual Newton supone la Luna cayendo hacia la Tierra, calcula la aceleración centrípeta de la Luna en su órbita y luego convierte –asumiendo una proporcionalidad con la inversa del cuadrado del radio de la órbita– el valor de esta aceleración para una distancia entre la Luna y la Tierra equivalente a un radio terrestre. Así, Newton compara estos resultados con la aceleración de un cuerpo en la superficie de la Tierra debida a su gravedad, es decir, en caída libre, y los resultados obtenidos se acercan lo suficiente como para concluir que se trata de la misma aceleración, o sea, de la misma fuerza que posteriormente él denomina como la gravedad. La actividad se desarrolla en la misma línea de las clases 3 y 4 y se guía por el cuestionario *D* del anexo, proporcionado por el profesor, que contiene los puntos principales sobre el tema con el objetivo de que los estudiantes lo comprendan para la posterior discusión colectiva con los otros grupos.

En las clases 9 y 10 se realiza una discusión abierta entre los grupos con la misma dinámica que las clases 5 y 6. Al final de esta actividad debe ser producida una nueva argumentación colectiva sobre el papel de la experiencia de la «caída de la Luna» en el desarrollo de la ley de la GU de Newton, en la forma de la estructura de Toulmin, a partir de las contribuciones de los grupos con la mediación del profesor.

La clase 11 es conducida por el profesor para exponer, con la participación de los estudiantes, una conclusión general acerca de la ley de la GU de Newton y su importancia para la síntesis newtoniana, haciendo un resumen de los argumentos construidos colectivamente en las actividades anteriores en una interacción de tipo interactivo/de autoridad (Mortimer y Scott, 2002). Por último, la sesión 12 tiene por objetivo hacer una evaluación de las actividades desarrolladas en esta secuencia didáctica. En este momento los estudiantes deben reunirse para producir una representación de sus conclusiones finales sobre los temas discutidos en actividades anteriores, a través de la estructura de argumentación de Toulmin, que permitirá evaluar la calidad de la argumentación producida colectivamente por los grupos con la mediación del profesor. En la figura 3 presentamos de forma esquemática toda la propuesta.

CONSIDERACIONES FINALES

Esta propuesta didáctica se basa en la concepción de que los estudiantes deben aprender a discutir y a evaluar un argumento científico para familiarizarse con el género del discurso científico y, con ello, mejorar su capacidad para abordar de manera más sustancial el contenido de la GU de Newton. Para ello, usamos la estructura de Toulmin como modelo adecuado, desde el punto de vista científico y pedagógico, para desarrollar y evaluar un argumento. Por otra parte, el enfoque contextual utilizado permitiría a los alumnos una mejor apreciación de la naturaleza de la ciencia y cómo esta es producida por la comunidad científica. La propuesta ofrece así una alternativa para usar la HFC en las clases de física para abordar la cuestión de la GU de Newton con el enfoque en promover la habilidad de argumentación de los alumnos.

Sin embargo, como cualquier otra propuesta didáctica, también tiene algunas limitaciones. Una de ellas tiene que ver con el enfoque en la construcción de un argumento colectivo, que hace que no se tengan en cuenta los aspectos cognitivos de cada estudiante en particular. Para evaluar estos aspectos, sería necesario el uso de otra herramienta de análisis.

Otra limitación está relacionada con el tiempo establecido para la realización de la secuencia en su totalidad, 12 clases de 50 minutos cada una. Esta cantidad de tiempo puede representar una parte importante del disponible en una asignatura para solamente abordar un tema. Sin embargo, esto puede ser justificado

Clase	Tema	Actividad	Objetivo	Material utilizado	Clase	Tema	Actividad	Objetivo	Material utilizado
1	Ciencia y argumentación	Levantamiento de las concepciones previas de los estudiantes sobre la GU y sobre la naturaleza de la ciencia. Exposición y debate sobre el tema con los estudiantes, después de lectura anterior (en casa) de los textos recomendados por el profesor	Evaluar los conocimientos previos de los estudiantes sobre la gravitación universal de Newton y sus concepciones previas sobre la naturaleza de la ciencia. Discutir con los alumnos el papel de argumentación en la ciencia	Cuestionarios A e B (en adjunto) y los textos 1 y 2, que discuten la naturaleza argumentativa de la ciencia	1 y 8	La experiencia de la "caída de la Luna" de Newton	Debate sobre el tema por parte de los alumnos en grupos de cuatro o cinco (los mismos grupos de clases anteriores), después de haber leído antes (en casa) el texto recomendado por el profesor; la discusión es guiado por un cuestionario indicado por el profesor con importantes puntos de discusión sobre el tema	Propiciar a los alumnos discutir internamente (en grupos pequeños) con el fin de un entendimiento sobre el tema y una contribución en la construcción de un argumento colectivo sobre el papel de la experiencia de la "caída de la luna" en el desarrollo de la gravitación universal de Newton	Texto 5: cuestionario D para orientar la discusión
2	El layout de argumentación de Toulmin	Exposición y debate sobre el tema con los estudiantes, después de lectura anterior (en casa) de los textos recomendados por el profesor	Presentar o layout de Toulmin como patron de calidad para la construcción de un bueno argumento	Textos 1, 2 y 3, que presentan y discuten el layout de argumentación de Toulmin	9 y 10	La experiencia de la "caída de la Luna" de Newton	Discusión sobre el tema entre los grupos; hace un debate general, con la mediación del profesor; en la que cada grupo presenta sus conclusiones de los debates de la clase anterior, así como que se posiciona sobre las conclusiones de otros grupos	Producir una argumentación construida colectivamente sobre el tema, desde la contribución de los grupos	Texto 5: cuestionario D para orientar la discusión
3 y 4	Los caminos de Newton a la gravitación universal	Debate sobre el tema por parte de los alumnos en grupos de cuatro o cinco, después de lectura anterior (en casa) del texto recomendado por el profesor; la discusión es guiado por un cuestionario indicado por el profesor con puntos importantes de discusiones sobre el tema	Propiciar a los estudiantes discutir internamente (en grupos pequeños) con el fin de un entendimiento sobre el tema y una contribución en la construcción de un argumento colectivo sobre los pasos de Newton a la gravitación universal	Texto 4: cuestionario C (en adjunto) para orientar la discusión	11	La gravitación universal y la síntesis newtoniana	Conclucion general de los debates anteriores con la exposición del profesor y discusión con los estudiantes sobre el significado de la gravitación universal para la síntesis newtoniana	Hacer una síntesis de los argumentos construidos colectivamente y presentar una finalización del tema	Representaciones (por medio del layout de Toulmin) de los argumentos elaborados por los grupos
5 y 6	Los caminos de Newton a la gravitación universal	Debate sobre el tema entre los grupos; se trata de un debate general, con la mediación del profesor; en la que cada grupo presenta sus conclusiones de los debates de la actividad anterior, así como que se posiciona sobre las conclusiones de otros grupos	Producir una argumentación construida colectivamente sobre el tema, desde la contribución de los grupos	Texto 4: cuestionario C (en adjunto) para orientar la discusión	12	Evaluación	Evaluación en grupos de las actividades anteriores desde el layout de Toulmin; los estudiantes se reagrupan para producir una representación de las conclusiones finales sobre las actividades anteriores, a través del layout de Toulmin	Hacer una evaluación de la calidad de los argumentos producidos por los grupos	Representaciones (por medio del layout de Toulmin) de los argumentos elaborados por los grupos

Fig. 3. Diagrama síntesis de la secuencia didáctica.

Notas: cada clase tiene duración de 50 min.; texto 1: Toulmin (1958/2006); texto 2: Kuhn (1993); texto 3: "Argumentación en la Enseñanza de las Ciencias: El Layout de Toulmin" (sección 2 del presente trabajo); texto 4: Autores (2010b); texto 5: Freire *et al.* (2004); cuestionarios A, B, C y D en adjunto.

por la relevancia de este tema para comprender el significado de la síntesis newtoniana y el cambio en la visión del mundo que esta síntesis supuso para la sociedad del siglo XVII, como subraya Kuhn (1990).

De acuerdo con Driver *et al.* (2000), el modelo de argumentación de Toulmin, usado en clases de ciencia, también tiene limitaciones, en la medida en que no tiene en consideración las interacciones sociales entre los miembros del grupo para desarrollar un argumento. Aunque este aspecto no es el foco de la propuesta que hemos presentado, consideramos que una forma de superar esta limitación puede ser el uso del instrumento desarrollado por Mortimer y Scott (2002) para analizar las interacciones que se producen en el aula.

Finalmente, cabe señalar que la propuesta didáctica que aquí presentamos pretende dar respuesta a algunas limitaciones encontradas en la implementación de una primera versión de esta (Teixeira *et al.*, 2010a). Algunas de estas mejoras han sido la consideración de las ideas previas sobre el tema y sobre la HFC; el uso de materiales de instrucción específicos para auxiliar la discusión, como el texto de Teixeira *et al.* (2010b) y el texto que aparece en la segunda sección de este artículo; la discusión explícita de la función de la argumentación en la ciencia y la presentación contextualizada del modelo de Toulmin, así como la idea de enseñar a los estudiantes a desarrollar y evaluar adecuadamente un argumento científico utilizando este modelo. Como esta propuesta didáctica, hasta ahora, aún no se ha implementado, destacamos que solamente su uso en la situación concreta de intervención e investigación en el aula servirá como base para evaluar adecuadamente sus méritos para lograr sus objetivos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABI-EL-MONA, I. y ABD-EL-KHALICK, F. (2006). Argumentative Discourse in a High School Chemistry Classroom. *School Science and Mathematics*, 106(8), pp. 349-361.
<http://dx.doi.org/10.1111/j.1949-8594.2006.tb17755.x>
- BROWN, R. (2007). Exploring the Social Positions that Students Construct within a Classroom Community of Practice. *International Journal of Educational Research*, 46(3-4), pp. 116-128.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijer.2007.09.012>
- CAPECCHI, M.C.V. y CARVALHO, A.M.P. (2000). Argumentação em uma Aula de Conhecimento Físico com Crianças na Faixa de Oito a Dez Anos. *Investigações em Ensino de Ciências*. 5(3), pp. 171-189.
- CARVALHO, A.M.P. y VANNUCCHI, A.I. (1996). O Currículo de Física: Inovações e Tendências nos Anos Noventa. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1(1), pp. 3-19.
- COHEN, I.B. (1983). *La Revolución Newtoniana y la Transformación de las Ideas Científicas*. Traducción: Carlos Solís Santos. Madrid: Alianza Editorial.
- COHEN, I.B. (1988). *O nascimento de uma nova Física*. Tradução: Maria Alice Gomes da Costa. Lisboa: Gradiva.
- CROSS, D.; TAASOBSHIRAZI, G.; HENDRICKS, S. y HICKEY, D.T. (2008). Argumentation: A Strategy for Improving Achievement and Revealing Scientific Identities. *International Journal of Science Education*, 30(6), pp. 837-861.
<http://dx.doi.org/10.1080/09500690701411567>
- DRIVER, R.; NEWTON, P. y OSBORNE, J. (2000). Establishing the Norms of Scientific Argumentation in Classrooms. *Science Education*, 84(3), pp. 287-312.
[http://dx.doi.org/10.1002/\(SICI\)1098-237X\(200005\)84:3%3C287::AID-SCE1%3E3.0.CO;2-A](http://dx.doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3%3C287::AID-SCE1%3E3.0.CO;2-A)
- ERDURAN, S.; SIMON, S. y OSBORNE, J. (2004). TAPing into Argumentation: Developments in the Application of Toulmin's Argument Pattern for Studying Science Discourse. *Science Education*, 88(6), pp. 915-933.
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.20012>

- FREIRE, O.; MATOS, M. y VALLE, A. (2004). Uma Exposição Didática de Como Newton Apresentou a Força Gravitacional. *Física na Escola*, 5(1), pp. 25-31.
- GRIMES, W. (2009). Stephen Toulmin, a Philosopher and Educator, Dies at 87. *The New York Times* (Obituary), New York, December 11.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.P. (2010). *10 Ideas Clave: Competencias en Argumentación y uso de Pruebas*. Barcelona: GRAÓ.
[http://dx.doi.org/10.1002/1098-237X\(200011\)84:6%3C757::AID-SCE5%3E3.0.CO;2-F](http://dx.doi.org/10.1002/1098-237X(200011)84:6%3C757::AID-SCE5%3E3.0.CO;2-F)
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.P.; GALLÁSTEGUI, J.R. (2011). Argumentación y Uso de Pruebas: Construcción, Evaluación y Comunicación de Explicaciones en Física y Química. En CAAMAÑO, A. (coord.). *Didáctica de la Física y la Química*. Barcelona: GRAÓ, cap. 6, pp. 121-139.
- JIMÉNEZ-ALEIXANDRE, M.; RODRÍGUEZ, A. y DUSCHL, R. (2000). «Doing the Lesson» or «Doing Science»: Argument in High School Genetics. *Science Education*, 84(6), pp. 757-792.
- KRUMMHEUER, G. (2007). Argumentation and Participation in the Primary Mathematics Classroom: Two Episodes and Related Theoretical Abductions. *Journal of Mathematical Behavior*, 2(1), pp. 60-82.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jmathb.2007.02.001>
- KUHN, D. (1993). Science as Argument: Implications for Teaching and Learning Scientific Thinking. *Science Education*, 77(3), pp. 319-337.
- KUHN, T.S. (1957/1990). *A Revolução Copernicana, a Astronomia Planetária no Desenvolvimento do Pensamento Ocidental*. Lisboa: Edições 70.
<http://dx.doi.org/10.1002/sce.3730770306>
- LAKATOS, I. (1970). History of Science and Its Rational Reconstructions, *PSA: Proceedings of the Biennial Meeting of the Philosophy of Science Association 1970*. New York: Springer, pp. 91-136.
- LEDERMAN, N.G. (2002). Views of Nature of Science Questionnaire (VNOS): Toward Valid and Meaningful Assessment of Learners' Conceptions of Nature of Science. *Journal of Research in Science Teaching*, 39(6), pp. 497-521.
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.10034>
- MORTIMER, E. y SCOTT, P. (2002). Atividade Discursiva nas Salas de Aula de Ciências: Uma Ferramenta Sociocultural para Analisar e Planejar o Ensino. *Investigações em Ensino de Ciências*, 7(3), pp. 283-306.
- MUNFORD, D. y ZEMBAL-SAUL, C. (2002). *Learning Science Through Argumentation: Prospective Teachers' Experiences in an Innovative Science Course*. Paper presented at the Annual Meeting of the National Association for Research in Science Teaching (NARST), New Orleans, L.A., April (ERIC Document Reproduction Service n.º ED 465 520).
- NAYLOR, S.; KEOGH, B. y DOWNING, B. (2007). Argumentation and Primary Science. *Research in Science Education*, 37(1), pp. 17-39.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11165-005-9002-5>
- NEWTON, I. (1999). *The Principia: Mathematical Principles of Natural Philosophy. A New Translation by I. Bernard Cohen and Anne Whitman*. (Preceded by a Guide to Newton's Principia by I. Bernard Cohen). Berkeley, Los Angeles, London: University of California Press.
- REGO, T.C.R. (2000). A Origem da Singularidade Humana na Visão dos Educadores. *Cadernos CEDES*, 35, 2.ª edição.
- STAMOVLASIS, D.; DIMOS, A. y TSAPARLISA, G. (2006). Study of Group Interaction Processes in Learning Lower Secondary Physics. *Journal of Research in Science Teaching*, 43(6), pp. 556-576.
<http://dx.doi.org/10.1002/tea.20134>
- TEIXEIRA, E.S.; GRECA, I. y FREIRE, O. (2012). The History and Philosophy of Science in Physics Teaching: A Research Synthesis of Didactic Interventions. *Science and Education*, 21(6), pp. 771-796.
<http://dx.doi.org/10.1007/s11191-009-9217-3>

- TEIXEIRA, E.S.; SILVA, C.P.; FREIRE, O. y GRECA, I. (2010a). A Construção de uma Argumentação sobre a Síntese Newtoniana a partir de Atividades em Grupos. *Investigações em Ensino de Ciências*, 15(1), pp. 61-95.
- TEIXEIRA, E.S.; PEDUZZI, L.O.Q. y FREIRE, O. (2010b). Os Caminhos de Newton para a Gravitação Universal: Uma Revisão do Debate Historiográfico entre Cohen e Westfall. *Caderno Brasileiro de Ensino de Física*, 27(2), pp. 215-254.
<http://dx.doi.org/10.5007/2175-7941.2010v27n2p215>
- TOULMIN, S. (2006). *Os Usos do Argumento*. Trad. Reinaldo Guarany. São Paulo: Martins Fontes.
- VIGOTSKI, L. (1934/2001). *A Construção do Pensamento e da Linguagem*. Tr. Paulo Bezerra. São Paulo: Martins Fontes.
- VIGOTSKI, L. (2000). *A Formação Social da Mente*. São Paulo: Martins Fontes.
- VOLLMER, N. (1997). *Helping in Mathematics Group Work: Supporting and Disturbing Cooperation*. Paper Presented at the Annual Meeting of the American Educational Research Association, Chicago Illinois, March. (ERIC Document Reproduction Service n.º ED409-185).
- WESTFALL, R.S. (1971). *Force in Newton's Physics*. London: MacDonald; New York: American Elsevier.
- WESTFALL, R.S. (1980). *Never at Rest-A biography of Isaac Newton*. Cambridge: Cambridge University Press.
- WESTFALL, R.S. (1995). *A vida de Isaac Newton*. Tradução: Vera Ribeiro. Rio de Janeiro: Nova Fronteira.

ANEXO

CUESTIONARIO A. Estudio de las concepciones previas de los alumnos sobre la GU de Newton.

1. Explica lo que sabes acerca de la Gravitación Universal de Newton.
2. Describe el tipo de movimiento realizado por la Luna en su órbita alrededor de la Tierra.
3. ¿Cuáles son las causas de este movimiento?
4. Deduce la ley de la GU de Newton usando la tercera ley de Kepler.
5. ¿Cuál es el papel, si hay alguno, de las leyes del movimiento de Galileo en el desarrollo de la GU de Newton?
6. ¿Cuál es el papel, si hay alguno, de las ideas de Descartes en el desarrollo de la GU de Newton?

CUESTIONARIO B. Encuesta para la detección de ideas previas acerca de la naturaleza de la ciencia (adaptado del cuestionario VNOS (C), Lederman, 2002).

1. En tu opinión, ¿qué es la ciencia? ¿Qué hace a la ciencia diferente de otras formas de investigación (por ejemplo, la religión, la filosofía, etc.)?
2. ¿Qué es un experimento y cuál es su papel en la producción del conocimiento científico?
3. Algunos libros de ciencia a menudo representan el átomo como un núcleo compuesto de protones (partículas con carga positiva) y neutrones (partículas neutras) con los electrones (partículas con carga negativa) orbitando ese núcleo. ¿Cuál es el grado de certeza que los científicos tienen sobre la estructura del átomo? ¿Qué pruebas específicas o tipos de pruebas crees que los científicos utilizan para determinar a qué se parece un átomo?
4. ¿Crees que se puede encontrar diferentes grupos de científicos que hayan llegado a conclusiones diferentes, suponiendo que utilizan el mismo conjunto de datos para obtener sus conclusiones? Justifica tu respuesta.
5. ¿Consideras que hay diferencias entre una teoría científica y una ley científica? Justifica tu respuesta y pon un ejemplo.

6. Algunas personas afirman que la ciencia está impregnada por los valores sociales y culturales. Otras personas afirman que la ciencia es universal, que no se ve afectada por estos valores. ¿Cuál es su posición al respecto? Da ejemplos.

CUESTIONARIO C. Para auxiliar en la discusión sobre los caminos de la GU de Newton.

1. Conforme Cohen y Westfall, ¿a qué obstáculos conceptuales se enfrenta Newton cuando trata el concepto de fuerza?
2. ¿De qué manera los estudios de Westfall y Cohen contribuyen a cambiar la imagen habitual que tenemos acerca de que Newton formuló el cálculo, la mecánica y la GU durante los *anni mirabilis*?
3. ¿Cuál es el papel de la tercera ley de Newton en la deducción de la ley de GU de Newton?
4. ¿Por qué procesos de transformación pasó el pensamiento de Newton durante los *anni mirabilis* hasta el desarrollo de la ley de la GU, de acuerdo con Cohen y Westfall?
5. ¿Cuáles son las dificultades a las que se enfrentó Newton en relación con su concepto de espacio absoluto al unirlo con el concepto de inercia?
6. Muestra que tanto el movimiento de inercia como el movimiento curvo de un cuerpo sometido a una fuerza central obedecen a la ley de las áreas de Kepler. Discute la importancia de esta ley para la dinámica planetaria de Newton.

CUESTIONARIO D. Para auxiliar en la discusión sobre la experiencia de la «caída de la Luna» de Newton.

1. Explica cómo Newton comparó la aceleración de la Luna en su órbita con la aceleración de la gravedad en la superficie de la Tierra. ¿Qué argumentos se utilizan para esto?
2. ¿Qué argumentos usa Newton para justificar la adopción de una fuerza proporcional a la inversa del cuadrado de la distancia?
3. ¿Cuál es el principal obstáculo al que se enfrentó Newton para introducir la idea de una fuerza gravitacional de acción a distancia? ¿Qué salida encontró para minimizar el problema?
4. ¿Qué entiendes por síntesis Newtoniana? ¿Cuál es la importancia y las implicaciones de esta síntesis?
5. ¿Qué argumentos utilizó Newton para adoptar el sistema heliocéntrico?
6. ¿A qué conclusiones llegas sobre el trabajo de Newton después de leer el texto y la actividad en clase?

Teaching Newton's universal gravitation guided by history and philosophy of science: a didactic proposal focusing on argumentation

Elder Sales Teixeira

Departamento de Física, Universidade Estadual de Feira de Santana (UEFS), Brasil; PPGEFHC*/UFBA-UEFS
eldersate@gmail.com

Olival Freire Jr.

Instituto de Física, Universidade Federal da Bahia (UFBA), Brasil; PPGEFHC/UFBA-UEFS
freirejr@ufba.br

Ileana Maria Greca

Departamento de Didácticas Específicas, Facultad de Humanidades y Educación, Universidad de Burgos, España; PPGEFHC/UFBA-UEFS
ilegreca@hotmail.com

This paper presents a didactic proposal to teach Newton's universal gravitation (UG) guided by the history and philosophy of science (HPS) to promote improvements in students' argumentation skills. This proposal is the culmination of a larger work that has already produced some results (Teixeira et al., 2010a; Teixeira et al., 2010b). The proposal includes some reference texts for implementation, one of which is presented in the second section of this paper that discusses the Toulmin's layout of argument (Toulmin, 2006), which is the argumentation framework we have adopted in our work. Finally, this paper presents a synthesis of the didactic sequence and the tools for guidance and evaluation suggested for its implementation in the classroom.

In this work we start from the conception of science as a human activity whose knowledge is socially constructed and argumentation is one of its essential aspects. In the process of creation as well as justification of science, argumentation plays a crucial role. Science is produced, among other things, from the public debate in which scientists who develop or use theories that compete with each other using argumentation, defend their ideas and oppose the rivals based on the concordance between the theoretical statements and available evidence. Thus, as shown by Naylor et al. (2007), "*this relationship between argument and science suggests that the argument should be an important part of science education*". Therefore, it is necessary that students learn to argue for appropriate scientific discourse and to acquire more tools to understand science's content and nature.

In addition, it is necessary to implement educational proposals guided by the history and philosophy of Science (HFC). Although there is a wide literature presenting theoretical arguments about this subject, there are few works that investigate educational interventions with the use of the HFC in physics classes (Carvalho and Vannucchi, 1996; Teixeira et al., 2012). This work offers support for teachers who share the same concern and seek to use HFC in physics classes to teach Newton's Universal Gravitation (GU) to improve argumentation skills for students.

Among the works dealing with the use of activities in classes to improve students' argumentation skills, a significant portion used Toulmin's layout as argumentation structure. In this essay we discuss the reasons that Toulmin sets to develop his layout of argumentation and we analyze the pedagogical advantages of using Toulmin's layout in science teaching.

Finally, we present a didactic proposal whose general objective is to teach Newton's GU through a teaching strategy guided by the HFC that emphasizes a collective construction by the students of an argument about the Newtonian synthesis. We also present the instruments suggested for orientation and evaluation of the didactic proposal. We consider that this didactic proposal may contribute to the physics teaching in various aspects.

* Postgraduate Program in Teaching, Philosophy and History of Science of Federal University of Bahia and State University of Feira de Santana, Bahia, Brasil. <<https://twiki.ufba.br/twiki/bin/view/PPGEFHC/WebHome>>

