

Alumnos que resuelven, alumnos que explican: análisis de explicaciones durante la resolución de un problema de Física.

Enrique Coleoni¹ - Laura Buteler¹ - María Teresita Moyano²

¹ Instituto de Física Enrique Gaviola. Universidad Nacional de Córdoba (Facultad de Matemática, Astronomía y Física) – Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas

² Escuela Superior de Comercio Manuel Belgrano. Universidad Nacional de Córdoba
ecoleoni@famaf.unc.edu.ar - lbuteler@famaf.unc.edu.ar

Se presenta un estudio de caso que analiza las explicaciones que tres alumnos secundarios generan al abordar un problema de Física. El análisis se basa en una caracterización de las explicaciones científicas, compartida por varios autores. El estudio indaga características de las explicaciones dadas por los estudiantes, y en qué medida éstas resultan potencialmente útiles para aprender a producir explicaciones científicas. El análisis permite identificar estos elementos. Los resultados tienen potenciales consecuencias para la enseñanza, en cuanto ayuda a reconocer aspectos productivos en el conocimiento de los estudiantes antes de la enseñanza formal de un tema.

Palabras clave: educación en Física - resolución de problemas – explicaciones

The present is a case study in which the explanations of three secondary-level students are analyzed, as they solve a Physics problem. The analysis is based on a characterization of scientific explanations shared by several authors. The study explores the characteristics of the explanations given by students, and also the potential usefulness of these characteristics to learn to produce scientifically sound explanations. The analysis shows the presence of these elements. Results have potential interest instruction-wise, as they can help to recognize productive aspects in students' knowledge prior to instruction.

Keywords: Physics Education – problem solving – explanations

Introducción

El aprendizaje de las ciencias involucra, entre otros objetivos, que el alumno logre desarrollar modos de pensamiento y acción que son propios de cada disciplina. La validez de afirmaciones y resultados son soportadas por explicaciones, las cuales, junto con los modelos y las teorías, son algunos de los productos de la actividad cognitiva involucrada en la construcción del conocimiento científico (Bell y Linn, 2000, Sandoval, 2003, McNeill., Lizotte y Krajcik, 2006). Al intentar comprender el mundo natural, los científicos recogen y analizan datos, valoran evidencias, revisan hipótesis, y esas actividades son las que dan lugar al desarrollo de teorías y explicaciones científicas. Según señalan Beyer y Davis (2008), enseñar ciencias poniendo énfasis en la explicación cambia el objetivo del aprendizaje: el objetivo central pasa de ser aquél de adquirir una colección de datos acerca de fenómenos naturales al de desarrollar una comprensión profunda del

mundo natural conectando ideas científicas con evidencias mediante el razonamiento.

Dar un lugar de prioridad a la actividad de explicación durante la instrucción tiene beneficios en el aprendizaje. Esta prioridad implica poner menos énfasis en la teorización de hechos y más énfasis en desarrollar una comprensión de los fenómenos articulándola mediante evidencias y razonamientos (Beyer y Davis, 2008). Algunos autores han encontrado que mediante diseños instruccionales que apuntan a generar un andamiaje didáctico para incorporar la actividad de explicar y fundamentar, los alumnos no sólo pueden mejorar sus capacidades explicativas, sino que además, la calidad de las explicaciones se ve acompañada de una mejor comprensión del contenido disciplinar desarrollado (McNeill y otros, 2006, Bell y Linn, 2000).

Dado el lugar de relevancia que ocupan las explicaciones tanto en el proceso de construcción de conocimiento disciplinar, como en el aprendizaje de la Física, resulta de interés

conocer cómo son las explicaciones que los alumnos ya son capaces de generar, antes de la enseñanza. El fundamento de este interés está vinculado fuertemente a una visión múltiple y contextualizada de la cognición (Hammer et al, 2005). Según esta visión, cuando los alumnos aprenden están reordenando, refinando y jerarquizando los recursos cognitivos de los que ya disponen. Estos recursos son la base de la cognición y, por lo tanto, también la base de sus explicaciones. Aprender a generar explicaciones científicas también involucra reorganizar y jerarquizar recursos cognitivos en diferentes contextos de explicación.

En este trabajo se analizan las explicaciones que surgen como parte del proceso de solución que desarrollan alumnos de nivel medio cuando abordan un problema de física. El análisis de las explicaciones se realiza sobre la base de una caracterización que es compartida por Beyer y Davis (2008), McNeill y colaboradores (2006) y Sandoval (2003) la cual a su vez se basa en el marco teórico de Toulmin (1958) para la argumentación. Según esta caracterización, los elementos que conforman una explicación son: una tesis, un conjunto de una o más evidencias y un razonamiento. La tesis es una afirmación referida a alguna cuestión específica. Según la situación o el problema que se aborde, la tesis puede ser una simple afirmación o una descripción de un hecho. La evidencia es información que permite respaldar la tesis. El razonamiento es la justificación de por qué y cómo la evidencia sirve de respaldo a la tesis. McNeill y colaboradores (2006) señalan dos aspectos importantes respecto a la evidencia y a los razonamientos. En primer lugar, una buena explicación incorpora evidencia que es tanto pertinente como suficiente. En cuanto a los razonamientos, a menudo son los principios o leyes científicas (relevantes) los que constituyen la justificación de por qué ciertos datos pueden ser usados para respaldar una tesis.

Estos elementos permiten analizar las explicaciones que los sujetos generan durante el abordaje de un problema de física, atendiendo a cuál es la evidencia que utilizan para respaldar la tesis que sostienen y cuál es el razonamiento mediante el que hacen uso de esa evidencia. El análisis que se lleva a cabo está

orientado por las siguientes preguntas:

- 1) *¿son capaces los alumnos de dar explicaciones sobre una situación física que les plantea un conflicto?*
- 2) *En las explicaciones que los alumnos generan, ¿es posible observar los elementos que caracterizan a las explicaciones científicas?*
- 3) *En las explicaciones que los alumnos generan, ¿existen elementos que resultan potencialmente útiles para aprender a producir explicaciones científicamente correctas?*

El estudio

El trabajo que se presenta es un estudio de caso en el cual se analizan las explicaciones que un grupo de tres alumnos genera al resolver un problema de Física. Se trata de alumnos de nivel medio, cursando el 5^{to} año de un bachillerato con orientación en gestión. La institución a la que pertenecen los alumnos es una escuela secundaria dependiente de una universidad pública argentina. El modo de recoger datos sobre el proceso de resolución fue el de entrevista semiestructurada. Se presentó a los alumnos un problema, y se les dio la consigna de acordar en las respuestas. La participación de los investigadores fue la menor posible, de modo de no interferir en el camino de resolución que naturalmente elegían los alumnos. Solamente se pedían aclaraciones cuando era necesario. Los participantes son alumnos de una de las autoras del trabajo y accedieron a hacerlo de manera voluntaria.

Las entrevistas fueron registradas en audio y video, y el análisis de las explicaciones que generan los estudiantes se realizó atendiendo a cuáles son las tesis que sostienen, cuál es la evidencia que utilizan para sostenerlas y cuál es el razonamiento que utilizan para ello. El problema que se presentó a los alumnos se muestra en la figura 1.

Al momento de la entrevista, los alumnos habían cubierto contenidos de cinemática, pero no de dinámica, si bien conocen la relación entre peso, masa y aceleración de la gravedad. De hecho, los problemas de cinemática desarrollados con anterioridad incluían casos de cuerpos en caída libre, sin referencia al

Una pelota de bowling y otra de fútbol tienen el mismo volumen pero distinto peso. Las dos se dejan caer simultáneamente desde una terraza situada a 4 m del piso. Elija cuál de las opciones es correcta justificando su respuesta:

Al llegar al suelo, la velocidad de la pelota de bowling es:

- a) mayor
- b) menor
- c) igual

que la velocidad de la pelota de fútbol

La aceleración de la pelota de bowling es:

- a) mayor
- b) menor
- c) igual

que la aceleración de la pelota de fútbol

El tiempo que tarda en llegar al suelo la pelota de bowling es:

- a) mayor
- b) menor
- c) igual

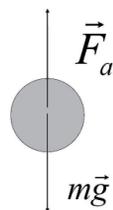
que el tiempo que tarda la pelota de fútbol

Figura 1. El problema utilizado

tamaño ni al peso o masa de los objetos. Otro factor importante que caracteriza a la enseñanza previa de estos alumnos, es que los problemas que habían resuelto se abordaron asumiendo que el rozamiento del aire es despreciable y que la aceleración de los cuerpos en la dirección vertical es constante e igual a la de la gravedad. El problema elegido apuntó a construir un contexto diferente al contexto de aula, que pudiera favorecer que los alumnos hablaran de sus ideas sobre la situación aún cuando no habían recibido una enseñanza formal al respecto.

La resolución del problema, desde un punto

de vista físico, involucra un análisis de las fuerzas actuantes sobre el cuerpo, que lleva al planteo de una ecuación diferencial cuyas soluciones son las funciones de movimiento del cuerpo, y que se pueden comparar para el caso de la pelota más densa (bowling) o menos densa (fútbol). La situación del cuerpo sometido a la fuerza gravitatoria (apuntando hacia el centro de la Tierra) y una fuerza viscosa \vec{F}_a ejercida sobre la pelota por el aire, la cual se puede considerar proporcional al cuadrado del módulo de la velocidad del cuerpo (Ver figura 2). La fuerza empuje que ejerce el aire sobre la pelota puede considerarse despreciable.



$$\vec{F}_a + m\vec{g} = m \frac{d\vec{v}}{dt}$$

$$|\vec{F}_a| = \kappa |\vec{v}|^2$$

$$\kappa = \kappa(\text{forma}, r_{\text{pelota}}, \rho_{\text{aire}})$$

Figura 2: Descripción física del problema planteado

La resolución de esta ecuación diferencial se puede restringir a la componente vertical de la posición $y(t)$ y $v_y(t)$ la velocidad. Una resolución numérica de estas ecuaciones, arroja como solución para y funciones que se apartan del comportamiento parabólico y lineal (respectivamente) que presentarían si se desprecia la resistencia con el aire. Sin embargo, en los primeros instantes, las funciones de movimiento de ambas pelotas se aproximan razonablemente bien por las funciones correspondientes a la caída en el vacío. Un gráfico cualitativo de las soluciones para la posición y

la velocidad se muestra en la figura 3. En este gráfico las líneas de punto corresponden a la pelota más densa y la línea llena a la menos densa. Estas soluciones corresponden a dos pelotas de densidades iguales a 100 veces la densidad del aire (pelota de fútbol) y 1000 veces la densidad del aire (pelota de bowling). En los gráficos se ha indicado el valor de tiempo correspondiente a 1,2 segundos, el cual se corresponde con una distancia recorrida de aproximadamente 5 metros para cualquiera de las dos pelotas.

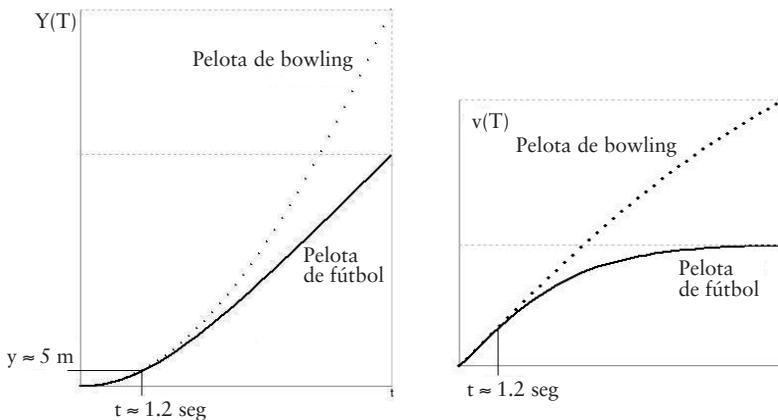


Figura 3: Gráficos cualitativos de las funciones de movimiento que resultan de las ecuaciones de movimiento para ambas pelotas.

Los resultados que se muestran en la sección siguiente ilustran las características de las explicaciones de los alumnos que participaron del estudio. El grupo de alumnos está conformado por Sergio (S), María (M) y Juan (J) (seudónimos).

Resultados

Se transcriben cuatro extractos de los registros audiovisuales, acompañados de comentarios que sirven de base para realizar el análisis propuesto, y en los cuales se encuentran elementos que permiten responder a las preguntas que guían esta investigación.

Cabe recordar que los alumnos que resuelven el problema han estudiado la caída de cuerpos en el campo gravitatorio, y el movimiento de cuerpos con aceleración constante. Ellos han

estudiado que, en las cercanías de la superficie terrestre, el movimiento que ellos describen con aceleración vertical constante de $9,8 \text{ m/s}^2$ corresponde a una idealización en la que no se tiene en cuenta el rozamiento con el aire. No han recibido ninguna enseñanza sobre las leyes de Newton. Aún así, esto no les impide analizar la situación física incorporando de manera explícita y desde el principio la presencia del aire. Comparan la situación ideal de “cómo caería” un cuerpo en el vacío, con la situación real de un cuerpo cayendo en presencia del aire. Estas explicaciones surgen espontáneamente a partir de su necesidad de resolver el problema y de acordar en la respuesta. Los elementos que incorporan para el análisis de cuerpos que caen en presencia de un fluido como el aire provienen claramente de su experiencia, o su intuición, pero no de la enseñanza formal.

Extracto 1: Sergio afirma que la presencia del aire es relevante para responder la pregunta. Esa es su tesis, compartida por María. Como evidencia traen un ejemplo trabajado en clase en el que se les dijo que *en el vacío* todos los cuerpos caen con la misma aceleración, sin importar su forma ni su peso. Sergio acepta como válido aquello que le dijeron en clase, y le da valor de evidencia. Juan sostiene que lo que se relaciona con la resistencia del aire es la *forma* del cuerpo, y por lo tanto, aún considerando que las dos pelotas caen en un medio con aire, al tener la misma forma, las dos caen al mismo tiempo. Sergio insiste en que aún si tienen la misma forma, la más pesada cae *antes*. Sostiene que eso lo sabe porque *todos hemos tirado cuerpos distintos*, trayendo así su experiencia cotidiana como evidencia.

S: *no me acuerdo quién había hecho la prueba, y si tiraba una pluma y una piedra, en el vacío, las dos caían igual... pero para hacer ese experimento tuvieron que hacer algo especial, porque si uno acá (en un medio con aire) tira una pluma y una piedra, va a caer más rápido la piedra... por eso... no sabemos bien cómo sería este caso...*

M: *Claro, no sabemos si tenemos que suponer que hay roce con el aire o que no hay roce con el aire... o sea... nosotros estamos suponiendo que hay aire, que no hay vacío, y por eso no van a caer las dos al mismo tiempo.*

J: *para mí sí, porque tienen el mismo volumen, o sea... tienen la misma forma, o sea que por más que haya aire, las dos van a caer al mismo tiempo... o sea... obviamente tiene más masa la pelota de bowling que la de fútbol, pero igual....*

S: *si tienen la misma forma... por más que tengan la misma forma, NO CAEN igual... si tenés dos pelotas iguales, pero de distinta masa, va a caer antes la que tiene más masa... eso... lo SABEMOS porque hemos tirado dos cuerpos semejantes, en volumen, y de diferente masa... y ha caído primero el que tiene más masa...*

M: *o sea... estamos diciendo lo que nos parece, lo que nosotros pensamos, y estamos tratando de respaldarlo con lo que nos enseñaron.*

Extracto 2: María y Juan recuerdan un ejemplo que vieron en una clase de matemática,

como ejemplo para el uso de ecuaciones, y lo utilizan como evidencia. Se trata de la prueba para conocer cuál de dos coronas, aparentemente idénticas por su forma y tamaño, está hecha de oro puro y cuál contiene una aleación. Este ejemplo les sirve para validar su tesis: que el peso del cuerpo influye en cuánto se ve atraído por la tierra. Utilizan esta evidencia estableciendo una analogía con el caso de las dos pelotas: en un caso el fluido es agua, y en otro es aire, y en ambos casos se tienen dos cuerpos de igual forma y tamaño pero diferente masa. Así como la corona más densa (más pesada) se sumerge más rápido en el agua, la pelota más densa (más pesada) cae más rápido en el aire.

M: *La profe nos había dado el ejemplo de una corona... que el rey quería saber si estaba hecha de oro puro o si...*

J: *ah! Lo que vos decís es que las dos coronas se sumergían en el agua y como tenían el mismo volumen, y el oro tenía más densidad...*

S: *o sea, el oro tenía más masa*

J: *sí, claro, más masa y por lo tanto mayor densidad, entonces, se sumergía más*

M: *iba a desplazar más agua, claro, tenía que ver con la masa!*

S: *Claro, tenía que ver con la masa... si tenía más masa... va a desplazar... lo que tenga que desplazar... más rápido!*

Entrevistador: *ah... a ver si entiendo... están tratando de hacer una analogía con lo que pasa cuando sumerjo un cuerpo en el agua... como si el agua fuese el aire?*

M: *sí, o sea, sabemos que el agua y el aire no son lo mismo, pero...*

S: *como si fueran dos cuerpos iguales pero de distinto peso*

Entrevistador: *o sea, si los cuerpos tienen distinta masa, pasan distintas cosas?*

J, S, M: *sí*

J: *probablemente porque sea más atraído por la Tierra.*

M: *pero...o sea... la gravedad siempre es la misma, pero el peso del cuerpo, o sea, la atracción que tiene hacia el centro de la Tierra sí depende de la masa, claro*

Entrevistador: *ah... o sea, ustedes se acuerdan de este ejemplo que les contó la profe sobre cuerpos sumergidos en el agua, y dicen:*

“la fuerza que el aire le hace a las cosas tiene que tener las mismas características que la fuerza que el agua le hace a las cosas” ¿es eso?

M: (duda, se sonríe) no tienen las mismas características... nosotros solamente, sobre algo que nos explicaron, y que sabemos que está bien porque nos lo dijo una profesora, estamos tratando de resolver este problema porque no estamos completamente seguros de que lo que estamos diciendo esté bien o esté mal... solamente estamos tratando de respaldar que...

S: que sí tiene que ver, que la masa sí incide en la velocidad con que el cuerpo llega al suelo

Extracto 3: Los alumnos trabajan sobre las aceleraciones. Esto plantea un conflicto entre dos tesis que se contraponen: a) las aceleraciones son las mismas para ambas pelotas, y b) al llegar al suelo la velocidad de la pelota más pesada es mayor que la de la más liviana. Sin dudar afirman que las aceleraciones son las mismas, incluso cuando el entrevistador les pregunta si se están refiriendo al caso “con” o “sin” aire. Se observa en este extracto la dificultad de los alumnos para encontrar evidencia que puedan utilizar para aceptar alguna de estas tesis y descartar la otra. Si bien este extracto no presenta las características de los otros (tesis/evidencia/explicación) fue incluido para mostrar el conflicto que los alumnos no logran superar al no poder encontrar la evidencia necesaria.

S: (leyendo) la aceleración de la pelota... (y responde junto con María): IGUAL! (Juan asiente)

Entrevistador: por qué dicen que es igual?

M, S: es la gravedad!

Entrevistador: en el vacío? O en el aire?

...

Entrevistador: les pregunto esto porque ustedes al principio (en la primera pregunta) separaron la respuesta según si caían las pelotas en el aire o en el vacío

S: ... en la Tierra... la aceleración es 10 m/s^2 ... acá en la Tierra sería siempre igual la aceleración

Entrevistador: consideres o no que estás en el vacío...

M: ¿cómo sabés que es así?

S: (perplejo) si tenemos acá la pelota de fútbol, y la pelota de bowling, y las tiramos

desde acá, ¡la aceleración es la misma! En la Tierra... la gravedad... la aceleración es igual... en el vacío... la diferencia... se supone que acá hay roce.

M: ahora... ¿por qué nosotros contamos el roce con el aire para la velocidad y no contamos el roce para la aceleración?

S: ¿cómo?

M: ¿por qué nosotros dudamos tanto con la velocidad de que si hay roce o no hay roce y por qué no dudamos con la aceleración si hay roce o no hay roce?

Esta reflexión lleva a María a recordar una aclaración hecha por la profesora en clase, sobre que lo que habían visto ellos (en cinemática) era una aproximación en la cual no se tenía en cuenta el roce con el aire.

J: si nosotros decimos que las aceleraciones son iguales, entonces las velocidades son iguales, y llegan al mismo tiempo también!

Extracto 4: En este extracto se observa a los alumnos apelar a evidencia de naturaleza experimental para respaldar alguna de las tesis contrapuestas en conflicto (aceleraciones iguales vs. velocidades diferentes). Buscan dos objetos similares en forma y tamaño (dos estuches de anteojos) y uno lo dejan vacío mientras que al otro lo llenan con lápices. Los tiran a ambos desde el borde del escritorio y tratan de determinar si alguno de ellos llega al suelo antes que el otro. Al intentar elaborar una explicación que les permita utilizar esa evidencia, ponen de manifiesto elementos que hacen a su capacidad para aceptar o cuestionar la evidencia de tipo experimental.

M: (deja caer los estuches, y luego, mirando a los compañeros)... ¡ay!... me parece que cayeron re-parecidos (Los vuelve a tirar de unos centímetros más arriba) ¡Caen al mismo tiempo! Lo que pasa es que este hace más ruido cuando pega en el suelo.

Repiten el experimento tirando los estuches desde diferentes alturas, y tratando de percibir diferencias en los tiempos de llegada al suelo. Después de varias instancias:

Entrevistador: y Sergio, ¿qué opinás?

S: (toma los estuches en sus manos y analiza, escéptico) a mí se me ocurre que... los estamos tirando de una distancia muy baja... y para que se note la diferencia habría que tirar-

lo...desde más arriba... Para mí, éste (el más pesado) cae más rápido, sólo que no lo alcanzamos a ver... igual que la pelota de bowling cae antes... eso lo SABEMOS, cómo explicarlo es lo que no sabemos...para mí, éste (el más pesado) cae más rápido... lo que pasa es que yo pienso que también debería caer más rápido aún si lo tiramos desde poca altura... tendríamos que tocar antes el suelo.

M: yo me estoy convenciendo que llegan al mismo tiempo... si los pudiera tirar desde más arriba lo haría, pero creo que vería que igual que ahora, los dos caen al mismo tiempo.

Intentan nuevamente, armando un arreglo con los bancos que les permite tirar los estuches desde más arriba y sobre una campera para que no se rompan:

J: (riéndose) para mí el experimento ese no me sirve de nada... ¡DESCONFIÓ de ese experimento!

S: ¡y sí! ¡Porque realmente no sabemos! Capaz que cae una milésima de segundo antes ése y no lo podemos ver, no lo puedo ver yo con mis ojos.

...

S: yo pienso que... si hay dos cuerpos, con el mismo volumen, y diferente masa, cae más rápido el más pesado...NO SÉ por qué...se supone que la aceleración es igual al principio, y después me parece que hay algo en el cuerpo que tiene más masa que lo acelera un poco más... o sea, la aceleración es la misma, es la de la gravedad, es 10 m/s^2 , pero hay algo que al más pesado lo va a hacer llegar más rápido, algo que no lo vimos nosotros (se refiere a que no lo vieron en clase)

J: pero si vos decís eso, es porque en algún punto tiene más aceleración uno que el otro.

S: no sé... pero hay algo que va a hacer que el de más masa llegue más rápido... y para explicarlo no tenemos más que eso que tiene que empujar el aire que tiene adelante, y la de más masa le cuesta menos desplazar el aire.

...

M: claro...a menos que no tuviéramos en cuenta el roce con el aire...

...

S: o sea... nosotros, si lo tuviéramos que trabajar como lo hicimos en clase, tendríamos que decir que la velocidad de la pelota de bowling es igual que la velocidad de la pelota

de fútbol, y que la aceleración es igual, y que el tiempo que tardan es el mismo... SI LO HICIÉRAMOS COMO SI ESTUVIÉRAMOS EN CLASE, pero no es la realidad eso, porque si vos acá tirás un objeto de mayor masa que otro, con el mismo volumen, el más pesado va a llegar antes al suelo.

Análisis de datos

La única consigna con la que los alumnos contaban al resolver el problema era la de responder a las preguntas acordando en las respuestas. Al intentar resolver, se les plantearon conflictos ante los cuales generaron espontáneamente una variedad de explicaciones. Los registros muestran cómo los alumnos recuperan información de diferente origen que utilizan como evidencia para respaldar sus tesis, y también diferentes razonamientos mediante los cuales hacen uso de esa evidencia. Más aún, los registros muestran cómo incorporan en sus explicaciones la influencia del aire en el movimiento, que no había sido abordada en ninguna instancia previa en clase. Esto indica que son capaces de elaborar explicaciones para las cuales no disponen de conocimiento disciplinar formal. El conocimiento que los alumnos ponen en juego para incorporar la influencia del aire en la caída de los cuerpos proviene probablemente de su intuición o de su experiencia cotidiana. Este conocimiento, si bien no es totalmente correcto en términos físicos, es, como se discute más adelante, potencialmente útil para el aprendizaje.

Es posible encontrar *elementos que caracterizan a las explicaciones científicas* en las explicaciones de los alumnos. Los cuatro extractos presentados muestran cómo los alumnos aceptan o descartan una tesis: las pelotas de diferente masa adquieren velocidades diferentes durante el proceso de caída, y así la pelota más pesada llega al suelo antes que la más liviana.

En el extracto 1, se puede ver que los alumnos utilizan como evidencia un ejemplo que recuerdan de clase (*si tiraba una pluma y una piedra, en el vacío, las dos caían igual*) y también su experiencia de interacción con el mundo físico (*lo SABEMOS porque hemos tirado dos cuerpos semejantes, en volumen, y*

de diferente masa... y ha caído primero el que tiene más masa). En el extracto 2, los alumnos recuperan otro ejemplo de clase, el cual usan como evidencia para respaldar la tesis de que cuerpos más pesados caen antes al suelo. El ejemplo corresponde a dos coronas que, al igual que las pelotas del problema, tienen la misma forma y tamaño, pero diferente masa (*sobre algo que nos explicaron, y que sabemos que está bien porque nos lo dijo una profesora, estamos tratando de resolver este problema porque no estamos completamente seguros de que lo que estamos diciendo esté bien o esté mal*). El extracto 4 muestra cómo los alumnos recurren espontáneamente a generar evidencia de tipo experimental para aceptar o descartar la tesis. Buscan dos cuerpos de forma y tamaño comparables y masas diferentes. Los dejan caer de diferentes alturas y analizan el resultado del experimento para ver si respalda o refuta la tesis.

En cuanto a los razonamientos que los alumnos utilizan para vincular evidencias con la tesis, éstos presentan diversas características. En el extracto 1, por ejemplo, comparan lo que sucedería en un ambiente sin aire y con aire, y aceptando lo que dice su evidencia (el ejemplo de clase sobre cuerpos que caen en el vacío) llevan a cabo un análisis de control de variables, que les permite concluir que lo que incide en la manera en que el aire retrasa la caída de un cuerpo es la forma y tamaño del mismo (*porque si uno acá [en un medio con aire] tira una pluma y una piedra, va a caer más rápido la piedra...y ... tienen la misma forma, o sea que por más que haya aire, las dos van a caer al mismo tiempo*). El extracto 2, a su vez, muestra un razonamiento de tipo analógico. El ejemplo utilizado como evidencia corresponde a dos coronas, de igual forma y tamaño, que se sumergen en un fluido, que es agua. La analogía es clara entre las dos coronas y las dos pelotas, y entre los dos fluidos. Esta analogía resulta potente para concluir que de la misma manera que la corona más densa se sumerge más rápidamente en el agua, la pelota más densa cae más rápidamente en el aire. En el extracto 4 puede verse cómo los sujetos explican su utilización de la evidencia experimental que acaban de construir.

Consideramos que en las explicaciones generadas por los alumnos existen elementos potencialmente útiles para aprender a producir explicaciones científicamente correctas.

En el extracto 1, vemos que los alumnos se involucran en una explicación que les ayuda a discernir qué variables determinan las características de la caída de un cuerpo en un fluido: forma, tamaño, peso. De hecho, sus predicciones son coincidentes con la solución formal del problema. (*S: ... si tiraba una pluma y una piedra, en el vacío, las dos caían igual... pero para hacer ese experimento tuvieron que hacer algo especial, porque si uno acá [en un medio con aire] tira una pluma y una piedra, va a caer más rápido la piedra...; M: ...nosotros estamos suponiendo que hay aire, que no hay vacío, y por eso no van a caer las dos al mismo tiempo.*)

También se puede observar que los alumnos son capaces de detectar inconsistencias en sus razonamientos. Aunque no advierten que al afirmar que las aceleraciones de los dos cuerpos son iguales, aceptan una afirmación que tiene validez solamente en el marco de un modelo simplificado en el cual se desprecia el rozamiento del aire (extracto 3: *...la aceleración de la pelota... Igual! ... es la gravedad!*), sí son capaces de advertir la inconsistencia con su predicción anterior sobre las velocidades, que sí tiene en cuenta la presencia del aire. Aunque no tienen éxito en solucionar esta inconsistencia, sí tienen indicios sobre su origen: en el extracto 3, María recuerda que en clase la profesora había hablado sobre la suposición de que el roce del aire era despreciable.

Se observan también otras características potencialmente útiles para el aprendizaje, en lo que se refiere a la utilización de evidencia experimental. En primer lugar, los alumnos recurren espontáneamente a la experimentación como fuente de evidencia. En el análisis de la evidencia que ofrece el experimento, también muestran que pueden analizar esa evidencia con una posición crítica. En el extracto 4, vemos a Sergio plantear que las condiciones del experimento pueden no ser las adecuadas para recoger la evidencia que necesita (*para que se note la diferencia habría que tirarlo...desde más arriba...*) Esto muestra cómo Sergio no solo busca evi-

dencia pertinente a la tesis que quiere respaldar, sino que también puede cuestionar si esa evidencia, obtenida en esas condiciones experimentales, es suficiente para aceptar o rechazar la tesis. También, junto con Juan, cuestionan la validez del resultado en términos de error experimental (J: *para mí el experimento ese no me sirve de nada... ¡DESCONFÍO de ese experimento!*; S: *¡y sí! ¡Porque realmente no sabemos! Capaz que cae una milésima de segundo antes ése y no lo podemos ver, no lo puedo ver yo con mis ojos.*)

Conclusiones

El trabajo realizado permite observar, en un caso particular, ciertas características de las habilidades que presentan los alumnos para generar explicaciones.

Es posible observar que los participantes, ante situaciones de conflicto, generan explicaciones de manera espontánea. Estas explicaciones, similarmente a lo que ocurre con las científicas, se pueden analizar en términos de una tesis que los alumnos respaldan o rechazan, utilizando evidencia mediante razonamientos.

El análisis realizado permite advertir elementos en las explicaciones de los alumnos que resultan útiles para aprender a generar explicaciones científicas. En el transcurso de sus discusiones es posible identificar cómo mencionan contenidos explicitados por un docente y lo utilizan como evidencia. También son capaces de producir evidencia de naturaleza experimental, y tienen elementos para evaluar la pertinencia y la suficiencia de esa evidencia.

Es posible identificar en los procesos de explicación de los alumnos otras similitudes importantes con un razonamiento de tipo científico, como por ejemplo, el control de variables (Extracto 1), el uso de la analogía (Extracto 2), el análisis de las condiciones experimentales (Extracto 4) y la discusión de la validez de los resultados empíricos a la luz del error experimental (Extracto 4). En el caso de la analogía del extracto 2, es interesante resaltar que el caso de la corona que recuperan fue dado en el contexto de una clase de matemática, como ejemplo del uso de sistema

de ecuaciones. Esto muestra cuánto los alumnos pueden vincular conocimiento aprendido en diferentes contextos, lo cual es una característica valiosa de su conocimiento para construir conocimiento científico.

En conjunto, es posible advertir que estos alumnos, que no han tenido instrucción referida a las leyes de Newton, tienen un conocimiento previo que es una base potencialmente útil para estudiarlas. Una clara muestra de ello es la frase de Sergio, en el Extracto 4, cuando dice “*yo pienso que... si hay dos cuerpos, con el mismo volumen, y diferente masa, cae más rápido el más pesado... se supone que la aceleración es igual al principio, y después me parece que hay algo en el cuerpo que tiene más masa que lo acelera un poco más... o sea, la aceleración es la misma, es la de la gravedad, es 10 m/s², pero hay algo que al más pesado lo va a hacer llegar más rápido, algo que no lo vimos nosotros*”. Si bien es incorrecto afirmar que la aceleración es la misma, esta afirmación es consistente con el hecho de que *inicialmente* las dos aceleraciones son iguales y, a medida que la velocidad de los cuerpos crece, mientras menor sea la masa del cuerpo, menor será la aceleración, y por lo tanto la velocidad del cuerpo más liviano crecerá a menor ritmo que la del más pesado, tal como queda claro analizando la siguiente ecuación (que surge de las ecuaciones de la figura 2):

$$\frac{dv}{dt} = g - \kappa v^2 / m$$

Los estudiantes no sólo analizan de manera crítica evidencias empíricas, sino que intentan también construir explicaciones de tipo causal. Una muestra de ello puede advertirse en la discusión del Extracto 4. Cuando Juan llama la atención sobre la necesidad de reconocer aceleraciones diferentes en la caída de las dos pelotas (*...si vos decís eso, es porque en algún punto tiene más aceleración uno que el otro*), Sergio reflexiona sobre posibles razones. Es interesante ver en los diálogos cómo, en la búsqueda de explicaciones, Sergio pasa de asignar atribución causal al cuerpo (*hay algo en el cuerpo que tiene más masa que lo acele-*

ra un poco más), a esbozar un argumento en términos de una acción del cuerpo sobre el aire (...tiene que empujar el aire que tiene adelante, y la de más masa le cuesta menos desplazar el aire). Ese aspecto indica que Sergio está potencialmente preparado para abordar el aprendizaje de las leyes de Newton, considerando interacciones y relacionando la aceleración de un cuerpo con las fuerzas sobre él aplicadas.

Cabe destacar que escapa a las intenciones del presente artículo recuperar cuestiones referentes a las concepciones de los estudiantes sobre fuerzas y movimiento y nociones relacionadas con la caída de los cuerpos (para una revisión reciente, remitimos a Mora y Herre-

ra, 2008). La extensa literatura referida al tema constituye sin duda una referencia obligada a la hora de analizar y comprender el discurso de los estudiantes.

Como consideración final, puntualizamos que el análisis realizado en el presente artículo muestra que en conjunto, es posible advertir que estos alumnos, que no han abordado aún las leyes de Newton, tienen en su conocimiento previo algunas bases potencialmente útiles para estudiarlas. Reconocer e identificar estos elementos útiles en las explicaciones de los alumnos, es relevante para diseñar tareas instruccionales que permitan aprovechar esa riqueza cognitiva de los estudiantes.

Referencias

- Bell, P., Linn, M.C. (2000). Scientific arguments as learning artifacts: designing for learning from the web with KIE. *International Journal of Science Education*, 22 (8), pp. 797-817
- Beyer, C.J. y Davis, E. (2008). Fostering second graders' scientific explanations: a beginning Elementary Teacher's knowledge, beliefs, and practice. *The Journal of the Learning Sciences*, 17, pp. 381-414
- Hammer D., Elby, A., Scherr, R. y Redish, E. (2005). Resources, framing and transfer. En Mestre, J.(editor): *Transfer of Learning from a modern multidisciplinary perspective*. Pp. 89-119. Greenwich, Connecticut: Information Age Publishing Inc.
- McNeill, K.L., Lizotte, D.J. y Krajcik, J. (2006). Supporting students' construction of scientific explanations by fading scaffolds in instructional materials. *The Journal of the Learning Sciences*, 15(2), pp. 153-191
- Mora, C. y Herrera, D. (2008). Una revisión sobre ideas previas del concepto de fuerza. *Latin-American Journal of Physics Education* 3 (1) pp. 72-86
- Sandoval, W. (2003). Conceptual and scientific aspects of students' scientific explanations. *The Journal of the Learning Sciences*, 12(1), pp. 5-51
- Toulmin, S. (1958). *The uses of arguments*. Cambridge, England: Cambridge University Press.