

Analizando la propia práctica: complementando el saber docente con la mirada del investigador.

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Enrique Andrés Coleoni^{1,2}, Laura María Buteler¹, Nicolás Baudino Quiroga¹

¹Facultad de Matemática, Astronomía y Física, Universidad Nacional de Córdoba, Medina Allende y Haya de la Torre. Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina.

²Instituto de Física Enrique Gaviola – CONICET. Medina Allende y Haya de la Torre. Ciudad Universitaria, CP 5000, Córdoba, Argentina.

E-mail: ecoleoni@famaf.unc.edu.ar

Resumen

El primer autor de este trabajo se incorpora como docente en un programa institucional en una universidad argentina que dicta carreras de licenciatura y profesorado de Física. Este programa apunta a cambiar el paradigma de clases teóricas expositivas por una modalidad en la cual se deben “discutir problemas y promover la participación de los estudiantes”. Por otras circunstancias, las clases de todo el cuatrimestre son registradas en audio y video. Esto habilitó al docente, finalizado el cuatrimestre, a analizar su propia práctica. El objetivo de este trabajo es abordar la cuestión de qué tipos de participación son más útiles para promover los aprendizajes de los estudiantes. Desde el conocimiento experiencial como docente surge un primer análisis que luego es profundizado mediante un enfoque teórico pertinente para analizar las dinámicas discursivas y su relación con los procesos de comprensión. Se encuentra que las intervenciones del docente para exponer conceptos y relaciones físicas pueden verse potenciadas cuando ocurren luego de que los estudiantes logran “hacer dialogar sus ideas”. El abordaje presentado permite distinguir participaciones de los estudiantes con diferentes potencialidades para el aprendizaje y de qué manera las intervenciones docentes pueden sintonizarse con ese proceso.

Palabras clave: Enseñanza de la Física, Entornos reales de aula, Dinámica discursiva.

Abstract

The first author of this presentation joins a teaching program in a school of Physics in a university in Argentina. The program aims at departing from the traditional lectures and shifting to “classes in which students participate more actively and problems are discussed in class”. This teacher was able to access video registries of his own classes throughout the semester, after it was finished. This enabled him to analyze his own teaching and to address the question of what kind of participation is more useful to promote students’ learning. A first classification was sketched from the teacher’s own teaching experience. In the present work, this analysis is taken to another level, using a theoretical model suitable to describe different discourse dynamics and its relation to students’ comprehension processes. The analysis allows to conclude that teacher’s interventions to present physical concepts and relations can have a more powerful impact on students learning when they take place after a period in which students are able to “make their own ideas talk”. The approach presented here allows to distinguish distinctive kinds of student participation with different potential for their learning, and how teachers’ interventions can align to that process.

Keywords: Physics Teaching, Real teaching environments, Discourse dynamics.

I. INTRODUCCIÓN

En la Facultad de Matemática, Astronomía y Física de la Universidad Nacional de Córdoba se han adoptado recientemente, varias medidas tendientes a reducir la deserción en los primeros años de las carreras de Licenciatura y Profesorado de Física que allí se dictan. Se implementó un sistema de tutorías para acompañar a los ingresantes en la adaptación a la vida universitaria; se incorporaron una asistente social y una psicóloga a la Secretaría de Asuntos Estudiantiles y se posibilitó el recursado de las materias del primer y segundo cuatrimestres de primer año en los cuatrimestres inmediatamente posteriores. Entre esas medidas, a partir del primer cuatrimestre del año 2012, se implementó en los cursos introductorios de Física, una modalidad de enseñanza que se denominó Teórico-Prácticos (T-P).

La intención de la institución con la implementación de los T-P es la de cambiar un paradigma docente que lleva muchos años vigente: por un lado, una clase de tipo magistral, la clase *teórica*, en la cual el docente encargado desarrolla, de manera expositiva, los contenidos de la asignatura, para una audiencia de aproximadamente 120 estudiantes, cuyo rol es básicamente la de receptores pasivos. Estas clases se complementan con clases de resolución de problemas, que demandan un tiempo igual, de 4 horas por semana. En éstas últimas los estudiantes resuelven, generalmente en grupos pequeños, problemas que son ofrecidos en un conjunto de guías, y tienen posibilidad de consultar sus resoluciones con (típicamente) dos docentes en cada comisión de aproximadamente 30 estudiantes. Los T-P se plantean como una alternativa a este esquema tradicional de clases teóricas + clases de resolución de problemas. Este planteo se cristaliza en dos consignas emitidas desde la gestión: “incluir en los T-P la discusión de problemas y ejemplos particulares” (motivado por un reclamo sostenido de los estudiantes acerca de la desconexión que perciben entre clases teóricas y clases prácticas) y la de “promover la participación de los estudiantes”.

Hoy en día hay un amplio consenso en cuanto a una postura constructivista sobre el aprendizaje: si los estudiantes aprenden a partir de lo que ya saben, mientras más puedan participar, más posibilidades tienen sus propias ideas de ocupar un lugar en ese proceso de aprendizaje. Algunas, entre muchas otras, propuestas didácticas se sostienen en este supuesto (Gil Pérez y Martínez Torregrosa, 1983; Foster, 2000; Leonard et. al. 2002). Las ideas previas de los estudiantes son evocadas cuando éstas se ponen en juego para la resolución de alguna situación problemática. En ese intento, los estudiantes las utilizan para proponer hipótesis, generar explicaciones y argumentos, realizar predicciones, descartar algunos resultados y aceptar otros, etc. y entendemos que en ese contexto tiene lugar la comprensión. Son estas comprensiones las que entendemos por aprendizaje. El valor de la intervención del docente para ese proceso de aprendizaje es el de poder favorecer cambios en el conocimiento previo de los estudiantes hacia ideas más cercanas al conocimiento científicamente aceptado. El aprendizaje de los estudiantes necesita de espacios de interacción para la contrastación, comparación de ideas y puntos de vista, y a su vez el docente es quien puede orientar ese proceso de modo que resulte más eficiente. Estos supuestos sostienen, por ejemplo, ciertas propuestas de instrucción basada en la indagación, como las de Driver et. al (2000), Kelly et. al (2000), Duschl y Osborne (2002), Kelly y Brown (2003).

El primer autor de este trabajo, quien es además docente de esta institución, fue uno de los profesores que se sumó a la propuesta institucional y participó del dictado de los T-P, en la asignatura “Física General I” del segundo cuatrimestre del primer año. La motivación para hacerlo surge, principalmente, de compartir la postura mencionada más arriba. Desde esa decisión como docente, se desprenden algunas preguntas acerca de la propia práctica. La primera de ellas: ¿cómo es la manera en que este docente logra materializar en el aula esta consigna institucional de ‘generar entornos participativos que incluyan la discusión de problemas’? Paralelamente a esta situación, otro hecho posibilitó llevar adelante el trabajo aquí reportado. Con el objeto de obtener datos para su trabajo final de licenciatura, el tercer autor obtuvo registros audiovisuales de la totalidad de las clases de esta asignatura. Esto permitió contar con un amplio conjunto de registros, a los cuales el docente accedió al finalizar el curso. Una primera mirada de los mismos permitió al docente advertir que “promover la participación de los estudiantes” puede tomar formas variadas. Una mirada desde la experiencia docente mostró que en algunos casos, las clases “colapsaban” en un modelo tradicional: algunos minutos después de comenzar la clase, el esquema que se repetía era el de una clase teórica, en la cual el docente expone un mensaje que los alumnos deben receptor y comprender. Es decir, si bien el docente abre la posibilidad a la participación de los estudiantes, hay una direccionalidad clara en cuanto al rol que se espera de uno y otros: el docente expone y son los estudiantes quienes deben entender lo que él está expresando, para lo cual pueden (e incluso son invitados a) interrumpir y preguntar. En contraposición, hubo clases en las cuales los “dueños” de las ideas parecían ser más los estudiantes que el docente. Al mirar los registros de estas clases, este profesor percibía en su actuación otra función del docente: él estaba ahí para entender los razonamientos de los estudiantes; estaba ahí no para que los alumnos lo siguieran a él, sino para seguirlos a ellos y, en todo caso, aportar al proceso de comprensión de ellos ofreciendo nuevas preguntas más que respuestas. El

objetivo que se persigue en este trabajo es profundizar en el análisis de aquellos registros de clase, eligiendo en particular una en la cual se produjo este último tipo de dinámica. La intención es abordar un análisis que vaya más allá de la reflexión desde la propia experiencia docente, adoptando para ello un marco teórico que permita dar sentido a las interacciones de los diferentes actores. Entendiendo que la enseñanza y el aprendizaje en el aula se articulan en un proceso de comunicación, el marco teórico utilizado es uno que permite describir aspectos de la dinámica comunicacional en el aula e intentar relacionar éstos con la construcción de ideas por parte de los estudiantes. En este sentido, el marco teórico que describiremos a continuación adhiere a la postura de que esta comunicación es dirigida por un docente quien establece las condiciones para la misma, planificando un guión y modificando el escenario del aula (Leach y Scott, 2002).

II. LA DINÁMICA COMUNICACIONAL DE INTERACCIÓN

El análisis de las dinámicas comunicacionales de interacción en el aula se centrarán en cuestiones tales como si el docente interacciona con los estudiantes, y si las ideas de éstos últimos son tenidas en cuenta durante estas interacciones. Utilizaremos el marco teórico propuesto por Mortimer, Aguiar y Scott (Mortimer y Scott, 2003; Scott et. al, 2006; Aguiar et. al, 2010) Según este marco teórico, las interacciones entre estudiantes y entre estudiantes y docente, se pueden caracterizar según dos dimensiones: dialógica-autoritativa e interactiva-no interactiva.

A. La dimensión dialógica-autoritativa

Esta dimensión de análisis se refiere a la identificación de cuáles ideas son las que orientan el discurso. Esta dimensión está caracterizada por sus dos extremos: el discurso dialógico y el discurso autoritativo. En un extremo de esta dimensión, se encuentra el discurso dialógico. El docente reconoce y da lugar a todo el abanico de ideas de sus estudiantes. El discurso dialógico se reconoce por estar abierto a diferentes opiniones y puntos de vista. Una característica particularmente interesante del discurso dialógico, es que puede presentarse con diferentes grados de interanimación de ideas. La interacción dialógica puede presentarse de modo que el docente recoja los diferentes puntos de vista de sus estudiantes y sencillamente los liste en el pizarrón. Claramente, este discurso da cabida a la opinión de los diferentes actores, pero no hay intención de trabajar sobre esas ideas comparándolas y contrastándolas entre sí: hay escasa interanimación de ideas. En contraposición, el docente podría incentivar la comparación de unas ideas con otras, establecer similitudes y diferencias, cuestionarlas mutuamente. Por ejemplo, ante opiniones diferentes podría preguntarse a sí mismo y a los estudiantes si esas dos ideas son coherentes entre sí, o si se contraponen, o, al encontrar posiciones contrapuestas, preguntar al resto de los estudiantes con cuál acuerdan y por qué. En este caso, el discurso dialógico que se presenta, mostraría un alto grado de interanimación de ideas.

En términos generales, el discurso dialógico abre la posibilidad a diferentes puntos de vista. En este tipo de discurso existe un lugar para las diversas opiniones o ideas de los participantes. En este sentido, mediante un discurso de tipo dialógico es posible tener en consideración tanto las ideas formales, establecidas desde la disciplina o desde el curriculum, como también las opiniones de los participantes. Estas ideas son entrelazadas entre sí mediante diferentes grados de interanimación de ideas.

En el otro extremo de esta dimensión, en contraposición al discurso dialógico, se encuentra el discurso autoritativo. Éste no da cabida a la exploración de diferentes ideas. El docente conduce su discurso guiado por una idea en particular, que es la idea normativamente correcta objeto de su enseñanza. Durante el desarrollo de esta idea, pueden surgir, por parte de los estudiantes, preguntas, ideas, y puntos de vista diversos. Lo distintivo del discurso autoritativo, es que las únicas ideas que son reconocidas o tomadas por el docente, son aquellas que éste reconoce como útiles o en sintonía con la historia científicamente correcta que intenta exponer. Si surgen otras ideas, que se apartan de este camino, éstas son desestimadas, o cuanto menos reformuladas por el docente para adaptarse a la idea que pretende desarrollar. En tal sentido, el discurso autoritativo se caracteriza por estar cerrado a los demás puntos de vista. La dirección del discurso se ha fijado de antemano por un único actor. Puede que se escuchen otras voces, pero no se exploran diferentes perspectivas y no hay interanimación de ideas, ya que las diferentes contribuciones no son tenidas en cuenta salvo que sean consistentes con la idea que se intenta exponer. Una presentación autoritativa, por parte del docente, es aquella en la que la idea del docente es la única en la cual toda la clase es instada a enfocarse.

B. La dimensión interactiva-no interactiva

Lo que confiere la funcionalidad dialógica a un momento discursivo es el hecho de que diferentes ideas sean reconocidas y consideradas, y no el hecho de que las alocuciones sean producidas por un solo individuo o por varios. Esto da lugar a la segunda dimensión de análisis: el discurso puede ser interactivo, incluye la participación de más de una persona, o no-interactivo, cuando sólo un actor lo produce.

Los abordajes discursivos: Las dos dimensiones descritas arriba permiten caracterizar cuatro tipos de discurso, sintetizados en la Figura 1. A continuación se ejemplifican cada uno de ellos.

- A) Interactivo / dialógico: Docente y estudiantes consideran un espectro de ideas. Existen variados grados de interanimación de ideas posibles. Si la interanimación de ideas es alta, surgen verdaderas preguntas e inquietudes a medida que se exploran distintos puntos de vista. Si la interanimación de ideas es pobre, las ideas de los diferentes actores sólo son reconocidas y explicitadas.
- B) No interactivo / dialógico: El docente recupera y resume distintos puntos de vista, ya sea explicitándolos en una lista (baja interanimación) o resaltando similitudes y diferencias entre ellos (alta interanimación).
- C) Interactivo / autoritativo: El docente se enfoca en un punto de vista particular, y guía a sus estudiantes a través de interacciones de tipo pregunta/respuesta, con la intención de recuperar aquellas respuestas que reafirman el punto de vista que pretende desarrollar.
- D) No interactivo / autoritativo: El docente expone unilateralmente un punto de vista específico, sin intervención de los estudiantes.



FIGURA 1. Cuatro tipos de abordajes discursivos

III. METODOLOGÍA

A. El grupo estudiado y la configuración espacial

El curso en el cual se tomaron los registros es un curso del 2^{do}. Cuatrimestre del Primer Año de una carrera de Licenciatura en Física. Este curso estuvo dividido en tres comisiones de las cuales una estaba a cargo del primer autor de este trabajo. El total de alumnos de esa comisión variaba entre los 15 y los 20, estando conformado por aproximadamente 70% de varones y 30% de mujeres.

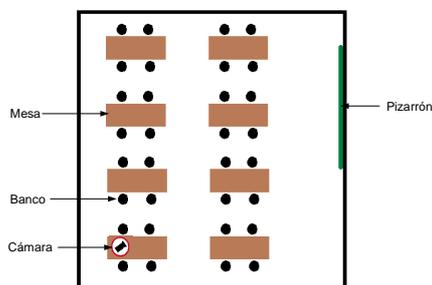


FIGURA 2. Configuración espacial

El aula en la que se desarrollaron las clases tenía una configuración no tradicional. No se ubicaban los estudiantes en pupitres individuales, sino que se agrupaban en mesas de trabajo en cada una de las cuales había entre 3 y 5 estudiantes. Esto permitía que se pudiera pasar rápidamente de un trabajo grupal, a un trabajo en grupos pequeños o a un trabajo individual. Los registros fueron tomados mediante una cámara fija en un extremo del curso, abarcando así el pizarrón y las mesas de trabajo. En la Figura 2 se presenta un esquema de la configuración espacial del curso.

B. La elección de los registros para el análisis

Como se señaló más arriba, al finalizar el cuatrimestre, el docente accedió a la totalidad de los registros de todas las clases. La elección de una clase en particular para el análisis fue orientada por la mirada del primer autor, en su calidad de docente, en cuanto a que ésta clase había representado un ejemplo “exitoso” en relación a la consigna de favorecer la discusión y elaboración de ideas en los estudiantes. La intención es analizar cómo se dieron en esta clase diferentes dinámicas discursivas y observar la manera en que esas dinámicas se articularon con los procesos de comprensión de los estudiantes. En esta sección se describirá brevemente la situación planteada como actividad disparadora en la clase. No se trata de un problema como los que los estudiantes encuentran normalmente en una guía de problemas, sino situaciones problemáticas en las que se insta a “descubrir” y desarrollar el problema más que a brindar una solución correcta.

C. Problema: La estación espacial en órbita

El docente les muestra a los estudiantes un video grabado en una estación espacial que orbita alrededor de la Tierra (ver Figura 3). Un astronauta explica que debido al rozamiento (que aunque muy pequeño, existe con algunas moléculas de aire que se encuentran a esa altura), hay que encender los motores de la nave periódicamente, para ajustar la velocidad. El docente les propone la siguiente cuestión: “¿por qué los astronautas necesitan corregir la velocidad?”

Una situación físicamente equivalente a ésta es encontrada frecuentemente en problemas de Física introductoria. En general, en estos problemas se suele requerir encontrar la velocidad necesaria para que un satélite orbite alrededor de la Tierra en una trayectoria circular a una distancia dada de la superficie. La resolución de un problema similar es, para quien tiene un manejo experto de la disciplina, un caso particular de la Segunda Ley de Newton para un sistema en el cual una masa (el satélite) se mueve en un movimiento circular sometida a la fuerza central de atracción gravitatoria. Asumiendo que el movimiento puede modelarse como uno circular, y uniforme, la ecuación de la Segunda Ley se puede expresar como¹:

$$\frac{m|\vec{v}|^2}{R} = \frac{GmM}{R^2} \quad (1)$$

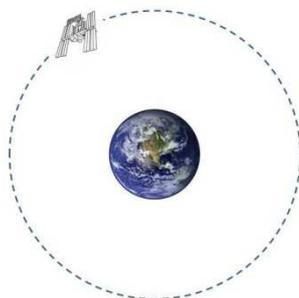


FIGURA 3. La estación espacial en órbita

A partir de esta igualdad, parece trivial advertir que órbitas de diferentes radios se corresponden con un único valor de rapidez. Sin embargo, como veremos, esto que puede aparecer como una aplicación simple de la segunda ley de Newton, puede resultar una tarea nada trivial para el caso de un movimiento circular. Veremos cómo diferentes tipos de intervenciones y de dinámicas discursivas se articulan para favorecer esa comprensión en los estudiantes.

IV. RESULTADOS

Los resultados se ejemplificarán a través de extractos de una clase de aproximadamente 100 minutos. La selección que se muestra es secuencial, y los tiempos de las alocuciones reflejan la distribución temporal de los mismos.

¹ En esta expresión, m es la masa del satélite, M la masa de la Tierra, G la constante de gravitación universal, y R la distancia entre el satélite y el centro de la Tierra.

Luego de exponer la situación, el docente deja a los estudiantes discutir en pequeños grupos, y después de aproximadamente diez minutos, solicita a los estudiantes que expresen lo que entienden está pasando. Recordemos que la pregunta planteada a los estudiantes es “¿por qué los astronautas necesitan encender los motores y corregir la velocidad?”. El docente invita a los estudiantes a compartir en general lo que están pensando, y espera. Algunos hacen gestos mostrando su intención de, y el docente espera a que se decidan a hacerlo. Uno de los estudiantes, Miguel, parece esperar prudentemente a que hablen sus compañeros, y al ver que nadie expone su opinión, solicita contar su punto de vista y pregunta si puede usar el pizarrón para dibujar. El docente acepta su inquietud, y mientras éste se dirige al pizarrón, el docente se retira hacia un costado del aula.

A. Extracto 1

Miguel explica que, si se hace la suposición de que la órbita es completamente circular y el módulo de la velocidad constante, entonces se pueden utilizar ideas ya conocidas.

(20:00) Miguel: Cuando está en órbita, si está en órbita uno está de acuerdo en algo...y es que se mantiene la velocidad, o sea el módulo de la velocidad... constante...¿si? en eso tenemos que estar de acuerdo... (pausa) ...la única aceleración entre el transbordador y la tierra... es la aceleración centrípeta ¿sí?

(21:00) Luis: ¿Aceleración normal?

(21:04) Miguel: Centrípeta o ...en Introducción² algunos lo llamaban normal, otros...en el apunte figuraba normal

(21:07) Luis: Es la gravedad

(21:10) Miguel: [a Luis] Ehh...no, no es tan así...no importa... no, no NO ES... Entonces... es la única aceleración que tenemos, para que sea la única...o sea, siempre tenemos...y eso hace que el transbordador vaya a girar, o sea, siempre tenés esa aceleración empujándolo... hacia el centro de la tierra.

El tipo de discurso observado: La interacción discursiva que observamos ocurre entre dos estudiantes: Miguel y Luis. Hay participación de estos dos estudiantes, aunque es Miguel quien sostiene la línea de pensamiento. Es este hecho el que indica que se trata de un discurso autoritativo dirigido por Miguel. Miguel está desarrollando una línea explicativa que se basa en la suposición de que la velocidad tiene módulo constante y la trayectoria es circular. El no está poniendo a consideración de sus compañeros esa suposición (“si está en órbita uno está de acuerdo en algo...y es que se mantiene ... el módulo de la velocidad... ¿si? en eso tenemos que estar de acuerdo...”). Acepta ciertas intervenciones que construyen alrededor de esa idea, como por ejemplo que esa aceleración, característica de movimientos circulares uniformes, puede llamarse aceleración centrípeta o normal. Su explicación no incluye ninguna de las causas para esa aceleración, y de hecho desestima el aporte de Luis cuando éste quiere relacionar esa aceleración con la fuerza gravitatoria (“no, no es tan así...no importa...no, NO ES”). Si bien Luis interviene, su idea de que la aceleración observada está relacionada con la fuerza de atracción gravitatoria no es tenida en cuenta para incorporarse a la explicación de Miguel. No hay interanimación entre estas dos ideas. Sólo “sobrevive” una de ellas: una aceleración centrípeta se condice con un movimiento circular uniforme. Un hecho no menor es que Miguel es un estudiante de Licenciatura en Física mayor que la media de sus compañeros. Antes de cursar esta carrera, ya era profesor de Física. Si bien es más esperable que un discurso autoritativo sea llevado adelante por el docente, es probable que la predisposición de Miguel a establecer este discurso autoritativo venga dada por su condición de profesor, aunque no sea el docente de este curso.

La construcción de ideas: Es interesante notar cómo en este discurso autoritativo interactivo que se observa, se facilitan algunas comprensiones y se dificultan otras. Por un lado, Miguel, logra exponer un punto importante para modelar este fenómeno: un movimiento circular uniforme sólo admite una aceleración centrípeta en todo momento. Por lo tanto, para mantener la órbita circular, cualquier disminución de la velocidad debe corregirse para acercarse más a la situación ‘ideal, sin rozamiento’ de rapidez constante. Esta explicación permitiría entender por qué una solución es mantener la velocidad inicial, pero no por qué el satélite no podría seguir orbitando con otra velocidad. De hecho, la intervención de Luis apunta en esa dirección. El quiere relacionar el movimiento observado con las fuerzas intervinientes. Aquí no logra su objetivo.

B. Extracto 2

² Se está refiriendo a la asignatura inmediatamente anterior, “Introducción a la Física”, en la cual se estudió la cinemática del punto, siendo uno de los últimos temas abordados, la cinemática del movimiento circular.

Miguel cierra la explicación anterior diciendo que para mantener la velocidad constante, la aceleración solamente tiene que tener una componente centrípeta. El docente interviene, desde su lugar, más apartado del pizarrón, entre los otros estudiantes:

(29:20) Docente: ¿y qué problema habría? ... ¿por qué no podría seguir en esa misma trayectoria circular, pero con otra velocidad?

Silencio... Se escuchan algunos murmullos (¿pero cómo?!... no!)

(30:00) Sebastián: y... iría cayendo en espiral... hacia el centro... hasta estrellarse

(30:15) Docente: y ¿por qué?

Nuevamente silencio

(30:42) Docente: ¿no podría orbitar un poco más lento, y ya está?

Durante unos minutos se generan discusiones entre diferentes interlocutores, que son difíciles de discernir en el audio, hasta que el Docente, pide si alguien le puede contar esto que él no logró escuchar. Luis, que estaba próximo al pizarrón, toma la palabra y se levanta:

(33:20) Luis: Supongamos la Tierra...yy...imaginemos que está a la misma altura del transbordador...yo quiero ver si hay una relación entre la velocidad y...eh... estar o no estar en órbita...¿debería haber no? ¿por qué debería haber relación entre eso y eso? porque si uno estuviese quieto, con velocidad... cero ...me caigo en función de la gravedad, que la gravedad apunta [dibuja un vector hacia el centro del círculo] y cae...Si lo lanzo un poquito para adelante, como vimos en los problemas de Introducción a la Física, yo tengo una torre de hasta allá arriba, muy alta y lo lanzo un poquito para adelante, le doy un cachetazo, lo que fuere...cae...o sea, como si fuera una pequeña parábola...o describe un pequeño arco. Pero si ... lo sigo tirando más fuerte, más fuerte, más fuerte, hasta que tiene que haber un momento en el que yo lo tire lo suficientemente fuerte hacia adelante...estee...y esto orbite.

Se producen una serie de intervenciones entre todos los estudiantes, durante algunos minutos, hasta

que Luis, que continúa al lado del pizarrón, escribe la expresión para la aceleración centrípeta, $|\vec{a}_c| = \frac{|\vec{v}|^2}{R}$:

(41:00) Luis: Pero, ¿por qué se cae si disminuye la velocidad? ¿No podría girar más lento?

(41:05) Docente: ¿Se entendió la pregunta de Luis? ¿Cuál es la pregunta de Luis?

(41:10) Leonel: Si el cuerpo se va desacelerando, [por qué permanece en] una órbita

(41:13) Docente: Ajá

(41:14) Luis: ¡Claro! ¿Se cae o no se cae?

(41:17) Docente: ¿Y a vos qué se te ocurre?

(41:20) Leonel: Si uno...sigue el...coso sí, se caería

(41:25) Docente: ¿Por qué?

(41:27) Leonel: Y porque en algún momento la velocidad sería menor...se llegaría...se, se hace chica y la centrípeta la mandaría para adentro

(41:34) Luis: ¿Cómo, cómo?

(41:36) Leonel: El [indistinguible] centro de la tierra

(41:40) Luis: ¿Por qué?

(41:42) Leonel: Por la aceleración centrípeta

(41:44) Luis: Pero, la aceleración centrípeta, ¿no es la que la hace girar?

El tipo de discurso observado: Aquí vemos un discurso interactivo, pero además dialógico. Iniciado por el docente, mediante un planteo en forma de pregunta (29:20), los estudiantes aportan diferentes puntos de vista, al principio indescifrables en la intervención generalizada. Luis (33:20) plantea una nueva mirada, no como un caso de movimiento circular, sino como un caso “extremo” de caída libre en un campo gravitatorio. Otra característica de este discurso dialógico se observa en la intervención de Luis en el minuto 41:00; lo que comparte con sus compañeros no es su idea acerca de lo que ocurre, sino la pregunta que él no logra responder: “¿por qué se cae si disminuye la velocidad? ¿No podría girar más lento?”. La intervención del docente también se sintoniza con este discurso dialógico; no apunta a dar una respuesta, o para señalar un camino para obtenerla, sino a alentar diferentes aportes: “Se entendió la pregunta de Luis?” / “¿y a vos qué se te ocurre?”. Alienta la interanimación de las ideas de los estudiantes entre los estudiantes.

La construcción de ideas: Al comienzo de este extracto, una sola idea parecía describir la comprensión del fenómeno: si una pequeñísima fuerza de rozamiento (por algunas pocas moléculas de aire) producían una desaceleración, debía contrarrestarse esa fricción encendiendo los motores. A partir de la pregunta planteada por el docente, los estudiantes comienzan a aportar otras ideas a este proceso de comprensión. La primera de ellas es la de Luis quien propone interpretar este caso como un caso extremo de un tiro en el vacío (33:20). Más adelante veremos cómo Luis avanza en su comprensión alrededor de esta idea.

Hay otra idea que es incorporada por Leonel en su alocución en 41:27 (“... en algún momento la velocidad sería menor... se hace chica y la centrípeta la mandarían para adentro”). Para Leonel esa aceleración centrípeta daría cuenta de la “caída” del satélite hacia el centro de la Tierra, fenómeno aparentemente diferente al de girar alrededor de la Tierra en una trayectoria curvilínea. En alguna medida, esta inquietud también es compartida por Luis ya que su cuestionamiento también tiene forma de pregunta (“Pero ¿La aceleración centrípeta no es la que la hace girar?”). Esta interacción entre Luis y Leonel pone de manifiesto una característica interesante acerca de cómo están comprendiendo esta nueva situación en términos de sus ideas previas. Parecen estar considerando dos tipos de efectos de la acción gravitatoria sobre los cuerpos. En los casos en los que los cuerpos ‘caen’ por acción de su peso, ese efecto se materializa en una aceleración que comúnmente llamamos ‘aceleración de la gravedad’. En el caso de un cuerpo en órbita, comprenden que la aceleración de ese movimiento circular es una aceleración caracterizada por ser centrípeta. Lo que aún no está claro para ellos es que se trata de la misma interacción y aceleración en ambos casos.

C. Extracto 3

Inmediatamente se producen intervenciones de varios estudiantes, al mismo tiempo, para abordar la pregunta sobre si, al disminuir la velocidad (el módulo), el cuerpo se ‘cae o no se cae’. Resulta imposible distinguir el audio de todas las conversaciones, hasta que en un momento, Franco se adelanta al pizarrón y refiriéndose a la expresión $|\vec{a}_c| = \frac{|\vec{v}|^2}{R}$, intenta un análisis, pero algunos compañeros notan una contradicción:

(48:10) Franco: Si calculamos V que tienda a cero, como la velocidad que tiende a...a cero, vamos a ver también que la aceleración centrípeta tiende a cero

(48:22) Miguel: ¿Qué tiende a cero?!

(48:24) Franco: la aceleración centrípeta

(48:26) Miguel: ¡Nunca puede tender a cero! (con sorpresa)

(48:30) Luis: ¿Cuál aceleración?

(48:33) Franco (Mirando a Miguel y señalando la fórmula en el pizarrón): Cuando la velocidad tiende a cero, sí.

(48:37) Luis: Pero qué es esa a_c es...o sea la aceleración centrípeta que...que tiene por la gravedad, la aceleración centrípeta que debería tener...que...¿QUÉ ES? ¿Qué se interpreta por a_c ? o sea, es obvio [señala la fórmula; inentendible]...

(48:50) Docente: ¿Qué representa ese a_c que está...?

(48:52) Luis: Claro, Franco estaba diciendo que cuando la velocidad, esa al cuadrado, baja, entonces a_c también baja. Pero qué es esa a_c ... en realidad te tengo que preguntar a vos (mirando a Franco)

(49:00) Franco: No sé bien, pero creo que tiene que ver con lo que dieron la clase pasada, que nos explicaron más o menos, que es para calcular la gravedad de un cuerpo que está a una gran distancia de ..del ...centro de la tierra...pero no me acuerdo bien cuál es la fórmula [Nota: recién después de esta intervención de Franco, los estudiantes deciden escribir también en el pizarrón la expresión $F_G = GmM/R^2$ para la fuerza gravitatoria³]

El tipo de discurso observado: Como hasta este momento, el discurso que se sostiene es de tipo dialógico/interactivo. Hay una fuerte interanimación de ideas: se están considerando abordajes diferentes que proponen distintas personas. Por un lado, Franco propone un análisis de la expresión de la aceleración centrípeta. Esta estrategia de análisis funcional seguramente les ha resultado útil en ocasiones anteriores y ahora aparece como una herramienta potencialmente útil para entender. Por otro lado, aparece el cuestionamiento de Miguel, que también es tenido en cuenta: “[la aceleración centrípeta] ¡nunca puede tender a cero!” y también es considerada la inquietud de Luis:(48:52) “Franco estaba diciendo que cuando la velocidad, esa al cuadrado, baja, entonces a_c también baja. Pero qué es esa a_c ... en realidad te tengo que preguntar a vos”). La respuesta de Franco también manifiesta que él mismo está intentando relacionar dos ideas: la aceleración como cambios en la velocidad ($a_c = v^2/R$) y la aceleración como efecto de la fuerza gravitatoria: (49:00) “No sé bien, pero creo que tiene que ver con .../... la gravedad de un cuerpo que está a una gran distancia...”. Este intento de coordinar ideas se manifiesta en el uso de palabras como ‘no sé bien’ y ‘creo que tiene que ver con’.

³ G es la constante de gravitación universal; m y M son las masas del satélite y de la Tierra, respectivamente, y R es la distancia del satélite al centro de la Tierra.

La construcción de ideas: Las dos ideas que están siendo interanimadas en este extracto tienen características que hacen que se dificulte verlas como dos aspectos de un mismo fenómeno. Por un lado, si se acepta que la aceleración centrípeta es $a_c = V^2/R$, esto no permite descartar que puede disminuir el valor de la velocidad, ya que simplemente habría otro valor de la aceleración (manteniendo ésta su carácter centrípeta). Por otro lado, la aceleración vista como la fuerza gravitatoria dividida por la masa, conserva necesariamente su carácter centrípeta, sin importar la velocidad del cuerpo. De hecho, esta dificultad se manifiesta también en que recién después de esta alocución de Franco, los estudiantes deciden escribir la expresión $F_G = GmM/R^2$ para la fuerza gravitatoria. Al mismo tiempo, un análisis cualitativo (ya propuesto por Luis en el minuto 33:20, extracto 2) permite advertir que si la velocidad no es lo suficientemente alta, el cuerpo no seguirá una órbita, sino que tendrá una trayectoria que lo hará estrellarse en algún punto de la Tierra. Los siguientes 25 minutos de la clase son utilizados por los estudiantes para intentar articular estas dos ideas. El docente interviene en estas discusiones, sin desarmar el discurso dialógico, y éste le permite advertir que la conexión que los estudiantes no están haciendo es que, al igual que en tantos otros problemas de aplicación de la Segunda Ley de Newton, en este problema se conocen algunas características de la aceleración y algunas características de la fuerza de interacción. Al escribir la ecuación que relaciona ambas ($F=ma$), es posible obtener a veces información acerca de las fuerzas y a veces acerca de las aceleraciones. En este caso, de manera indirecta, se estará obteniendo información acerca de la relación que debe darse entre rapidez y radio en una órbita circular alrededor de la Tierra.

La interanimación de todas las ideas que el docente pudo presenciar a lo largo de los aproximadamente 55 minutos de discusiones, le permiten hacer el cierre que veremos en el siguiente extracto.

D. Extracto 4

Los estudiantes han seguido discutiendo las diferentes ideas que hasta ahora hemos visto en los extractos; incluso ya han escrito la ecuación (1) que, sabemos, les permite calcular el valor necesario del módulo de aquella velocidad compatible con una órbita de radio R . Sin embargo, esta ecuación ha sido escrita fundamentalmente porque ambos miembros de la expresión son magnitudes que representan fuerzas. Aún no logran articular las ideas de aceleración centrípeta en un movimiento circular uniforme, fuerza gravitatoria y la trayectoria circular de un satélite alrededor de la Tierra. De hecho, un estudiante, Nicolás, reflexiona acerca de cuán no-trivial resulta esa conexión:

(68:50) Nicolás: Pasa que en los movimientos circulares que nosotros veíamos, nosotros teníamos nuestro hermoso r versor [se refiere al versor posición] que lo habíamos analizado constante, que esto que lo otro, pero ese r versor ¿no hacía una fuerza respecto del cuerpo, digamos! ... no había fuerzas... ¿no había masas!

(69:33) Docente: Lo que sí habían eran aceleraciones, velocidades y posiciones... No sabíamos por qué las cosas se movían como se movían, no teníamos idea... porque a nadie le importaba en realidad en Introducción.

(69:44) Nicolás: ¡qué bella realidad! (risas)

Minutos después, el docente retoma la palabra para hacer un resumen y proponer un cierre:

(76:24) Docente: A ver, pensemos en un problema de Introducción, si yo tenía un movimiento circular uniforme. ¿Sí? de radio R , ¿no? se acuerdan que planteábamos que:

$\vec{R} = R \cos \theta \cdot \hat{i} + R \sin \theta \cdot \hat{j}$, ¿Se acuerdan de eso? Derivábamos una vez, derivábamos otra vez, bla bla bla. ¿sí? Y haciendo esa cuenta sacábamos que la aceleración normal tenía un módulo ¿Cuánto?

(77:00) Luis: (Señalando el pizarrón) $a_c = V^2/R$

(77:02) Docente: Vos mismo lo escribiste. Bien... acá nunca nos preguntamos cómo es que se las arreglaba, lo que hacía esto para que el movimiento sea circular. Nosotros ahora sabemos que las aceleraciones no se producen porque sí. Se producen por qué razón, por fuerzas... entonces la pregunta que estamos planteando es...

(77:13) Luis: [interrumpiendo] ¡Aaaaah!

(77:14) Docente: ¿Qué pasó?

(77:15) Luis: La interacción ya está dada, ya es constante, ya se sabe que no varía entonces podemos calcular qué... qué aceleración tiene, qué aceleración produce [ininteligible] dividiendo por la masa... yyy... después vemos que esa aceleración debería ser la aceleración centrípeta que está ahí ($a_c = V^2/R$) y que está relacionada con la velocidad y el radio de la órbita, que lo sabemos... y sale la velocidad

El tipo de discurso observado: Aquí sigue habiendo signos de participación, los actores que intervienen en las diferentes alocuciones son varios, y el discurso sigue siendo interactivo. Aparece

asimismo una clara característica autoritativa en el discurso: el docente es quien plantea qué ideas se han de articular y cómo. Ya en el comienzo (76:24), el docente es quien propone en qué problema pensar y a qué detalles prestar atención (obtener aceleraciones a partir de las velocidades, y finalmente, relacionar éstas con las fuerzas). No es menos cierto que las ideas que el docente decide articular son aquellas que han estado circulando en las discusiones previas y que los estudiantes pueden reconocer como propias: i) recupera el conocimiento sobre cinemática que los estudiantes ya han manifestado comprender; ii) recupera la expresión para el módulo de la aceleración centrípeta que ellos mismos han escrito en el pizarrón (cuando Luis señala la expresión en el pizarrón, manifiesta “vos mismo lo escribiste”) iii) La decisión de hacer ésta exposición, partiendo de lo que ellos ya conocían de la asignatura anterior, parte de la alocución previa de Nicolás (68:50, “en los movimientos circulares que nosotros veíamos, teníamos nuestro hermoso r versor ... / ... r versor ¡no hacía una fuerza respecto del cuerpo, digamos! ... no había fuerzas... ¡no había masas!”) Esto permite al docente entender que hay una “dificultad” en reconocer como un mismo concepto la aceleración de un movimiento circular y la aceleración efecto de la fuerza central gravitatoria. Esto lleva al docente a “imponer” autoritativamente el foco de atención sobre esta conexión y hacerlo de manera explícita. Aparentemente esa conexión se vio favorecida, como lo muestra la interrupción de Luis en el minuto 77:15: “Ahh!! ... / ... la interacción ya está dada (fuerza gravitatoria dada por la distancia R) .../... esa aceleración debería ser la aceleración centrípeta que está ahí”. Esta interrupción de Luis señala también que si bien el docente ha tomado la tiza y un lugar de expositor en el pizarrón, sigue habiendo lugar para la interanimación de ideas, por lo cual este estudiante entiende que su voz sigue siendo pertinente.

La construcción de ideas: En este punto, los estudiantes han compartido y analizado tanto las características de la aceleración en los movimientos circulares, su relación con los cambios en el módulo y la dirección de la velocidad, como también las características de la aceleración como efecto de la fuerza gravitatoria terrestre sobre el satélite. Hay sin embargo un detalle que presenta una dificultad particular: relacionar fuerzas con aceleraciones en el contexto del movimiento circular. En el contexto de un análisis cinemático, los estudiantes han manifestado tener claro que la aceleración puede responder tanto a cambios en el módulo como en la dirección de la velocidad (Extracto 1, Miguel, minuto 20:00; Luis, minuto 41:44). Sin embargo, lo que parece ser más difícil de comprender es que esa aceleración es producto de la misma fuerza que produce la caída de los cuerpos. De hecho, esta idea de ver al movimiento satelital como un caso extremo de caída libre fue propuesto por un estudiante en el minuto 33:20. Recién en la intervención del minuto 77:15, vemos a Luis englobar todos estos elementos en su comprensión del fenómeno: la distancia entre la Tierra y el satélite es una variable que interviene tanto en la fuerza de interacción como en la relación entre el módulo de la velocidad y la aceleración centrípeta, y esa relación es la que permite entender por qué hay un sólo radio posible para cada velocidad del módulo en órbita.

V. CONCLUSIONES

Los extractos presentados resumen una clase en la cual el docente presentó una relación que cumplen ciertas variables en un estado estacionario. Esta ecuación (1), que en principio podría considerarse un caso trivial de aplicación de la Segunda Ley de Newton, conlleva cuestionamientos a diferentes ideas previas de los estudiantes acerca de aceleración, caída libre, y sobre todo, plantea la similitud entre dos tipos de fenómenos que son vistos por los estudiantes como diferentes: caer, por acción de la gravedad, y orbitar, por acción de una fuerza central. Esta diferenciación ya es manifestada por Leonel (41:27): “... en algún momento la velocidad sería menor.../... se hace chica y la centrípeta la mandarían para adentro... / ...por la aceleración centrípeta”. También se manifiesta en el cuestionamiento de Luis a Franco: (48:27) “¿qué es esa a_c es... la aceleración centrípeta que...que tiene por la gravedad, la aceleración centrípeta que debería tener...¿QUÉ ES? ¿Qué se interpreta por a_c ?”, y en la respuesta tentativa de Franco (40:00): No sé bien, pero creo que tiene que ver con .../... la gravedad de un cuerpo que está a una gran distancia del centro de la tierra”.

El docente comenzó la clase planteando un problema abierto, basado sobre un detalle mencionado en un video (la necesidad de encender los motores periódicamente para corregir la velocidad del satélite) y dispuso de aproximadamente una hora de clase en la cual se estableció un discurso interactivo y de características claramente dialógicas. Durante ese lapso, tuvo la oportunidad de observar qué ideas de los estudiantes estaban siendo interanimadas, cuáles conexiones entre las ideas de aceleración, velocidad y fuerza los estudiantes establecían sin dificultad y cuáles no. Esto le permitió, retomar el habla de manera autoritativa, de modo de poner énfasis en aquella conexión que los estudiantes estaban teniendo dificultades en realizar, a partir de las ideas que ellos sí articulaban sin dificultad. El discurso dialógico previo le permitió sintonizar una intervención autoritativa posterior con las ideas de los estudiantes:

aquella aceleración que ellos reconocían como característica en el movimiento circular del satélite es la misma aceleración que produce la fuerza gravitatoria de la Tierra sobre el satélite. Seguramente muchos docentes de Física sostendrán que 60 minutos es mucho tiempo para escribir una relación conceptualmente “directa” como la expresada en (1). Este análisis nos permite entender que la voz autoritativa del docente tiene una importante función: la de guiar la construcción de conocimiento en la dirección que establece el currículum, o sea, acercándolo a las ideas científicamente aceptadas. Sin embargo, la eficacia de esta voz autoritativa se ve ampliamente favorecida por momentos previos, claramente dialógicos, en los cuales los estudiantes tienen la oportunidad de mostrar detalles de sus ideas y de cómo las conectan. La intervención del docente, en el minuto 76:24, podría reflejar la apertura de una clase teórica tradicional. El valor que rescatamos mediante este análisis es cuánto se ve potenciada esa misma exposición, cuando viene precedida de momentos discursivos dialógicos que permiten sintonizarla con las ideas previas de los estudiantes.

El análisis de estos registros permite una nueva mirada sobre la importancia de las clases participativas: no alcanza con permitir o invitar la intervención de los estudiantes. El valor de este tipo de clases parece radicar en la potencialidad que tienen momentos de discurso dialógico, con alta interanimación de ideas, para proveer al docente un mapa útil para, posteriormente poder ofrecer, autoritativamente, una visión con mayores probabilidades de ser entendida significativamente por los estudiantes.

REFERENCIAS

- Aguiar, O.G., Mortimer, E.F. y Scott, P. (2010). Learning from and responding to students' questions: The authoritative and dialogic tension. *Journal of Research in Science Teaching*, 47(2), pp. 174-193.
- Driver, R., Newton, P. y Osborne, J. (2000). Establishing the norms of scientific argumentation in classrooms. *Science Education*. 84(3), pp. 287-312.
- Duschl, R.A. y Osborne, J. (2002). Supporting and promoting argumentation discourse in science education. *Studies in Science Education*, 38, pp. 39-72.
- Foster, T. (2000). The development of student problem-solving skills from instruction emphasizing qualitative problem solving. Tesis doctoral, Minnesota University: <http://groups.physics.umn.edu/physed/>.
- Gil Pérez, D. y Martínez Torregrosa, J. (1983). A model for problem solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5 (4), pp. 447-455.
- Kelly, G.J. y Brown, C. (2003). Communicative demands of learning science through technological design: Third-grade students' construction of solar energy devices. *Linguistics and Education*, 13(4), pp. 483-532.
- Kelly, G.J., Brown, C. y Crawford, T. (2000). Experiments, contingencies and curriculum: Providing opportunities for learning through improvisation in science teaching. *Science Education*, 84(5), pp. 624-657.
- Leach, J.T. y Scott, P.H. (2002). Designing and evaluating science teaching sequences: an approach drawing upon the concept of learning demand and a social constructivist perspective on learning. *Studies in Science Education*, 38, pp. 115-142.
- Leonard, W., Gerace, W. y Dufresne, R. (2002). Resolución de problemas basada en el análisis: Hacer del análisis y del razonamiento el foco de la enseñanza de la Física. *Enseñanza de las Ciencias*, 20 (3), pp. 387-400.
- Mortimer, E.F. y Scott, P.H.(2003). *Meaning Making in Secondary Science Classrooms*. Maidenhead: Open University Press.
- Scott, P., Mortimer, E.F. y Aguiar, O.G. (2006). The tension between authoritative and dialogic discourse: A fundamental characteristic of meaning making interactions in high school science lessons. *Science Education*, 90, pp.605-631.