

Implementación de un modelo de escritura de explicaciones en física a nivel universitario

Implementation of a model for writing explanations in Physics at university level

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Carla Inés Maturano^{1,2}, María Amalia Soliveres¹ y Carina Rudolph¹

¹*Instituto de Investigaciones en Educación en las Ciencias Experimentales, Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes, Universidad Nacional de San Juan, Av. J.I. de La Roza 230 (Oeste), Capital, CP 5400, San Juan. Argentina.*

²*Departamento de Geofísica y Astronomía. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, Universidad Nacional de San Juan. Av. J.I. de La Roza 590 (Oeste), Rivadavia, CP 5402, San Juan. Argentina.*

E-mail: cmatur@ffha.unsj.edu.ar

Resumen

En las clases de ciencias los estudiantes deben escribir a menudo explicaciones sobre diversos fenómenos. En este trabajo presentamos un diagnóstico de dificultades de estudiantes universitarios de carreras de ciencias al realizar esta tarea y la implementación en clases de física de un modelo de escritura que intenta mejorar las explicaciones que producen los estudiantes como respuesta a preguntas sobre contenidos disciplinares. La propuesta se basa en los lineamientos de la lingüística sistémico-funcional, encuadrándose en una pedagogía centrada en el género, en este caso el género explicación, que propone organizar el escrito según una estructura de tres etapas: premisa, razonamiento y conclusión. Los resultados muestran que la implementación del modelo de escritura mediante la deconstrucción del género y la construcción conjunta de un ejemplar genérico ha favorecido el proceso de escritura individual de una explicación, a la vez que ha contribuido a la detección de dificultades por parte del docente para guiar a los estudiantes en su aprendizaje.

Palabras clave: Escritura; Explicaciones; Física; Universidad; Lingüística sistémico-funcional.

Abstract

In science classes, students must often write explanations about various phenomena. In this work we present a diagnosis of difficulties of university students of science careers when performing this task and the implementation in physics classes of a writing model that attempts to improve the explanations that students write as answers to questions about disciplinary contents. The proposal is based on Systemic Functional Linguistics theory, framed in a genre based pedagogy, in this case the explanation genre, which proposes to organize the text in three stages: premise, reasoning and result. The results show that the implementation of the writing model guided by the deconstruction of the genre and the joint construction of a generic sample has favored the process of individual writing of an explanation, at the same time that it has contributed to the detection of difficulties on the part of the teacher to guide students in their learning.

Keywords: Writing; Explanations; Physics; University; Systemic functional linguistics.

I. INTRODUCCIÓN

Aprender ciencias implica apropiarse del lenguaje de la ciencia y de las nuevas formas de ver, pensar y hablar sobre los hechos, que son distintas de las formas cotidianas; así, aprender ciencias implica no sólo reconocer nuevas ideas e identificar evidencias sino también aprender a hablar y escribir sobre estas (Sanmartí, 2007). Desde el punto de vista de la enseñanza de las disciplinas científicas, las exigencias en cuanto a la producción escrita de los estudiantes se centran generalmente en que no repitan palabras (términos, definiciones) mecánicamente, sean capaces de construir significados acerca de los términos científicos comprendiendo el vocabulario de las ciencias, aprendan a combinar los significados de los

distintos términos según las formas aceptadas del lenguaje científico elaborando patrones temáticos, lo cual implica que hablen, escriban y razonen sobre los contenidos disciplinares (Martín-Díaz, 2013).

La explicación científica se encuentra en el corazón de la ciencia ya que lograr una explicación coherente de los fenómenos naturales constituye un objetivo clave de la misma (Papadouris, Vokos y Constantinou, 2018). Este tipo de explicación, en ciertas ramas de la Física, se basa inicialmente en eventos visibles y gradualmente se hace más compleja involucrando teorías y relaciones causales (Veel, 2000). Cuando los estudiantes universitarios responden preguntas por escrito en las clases de Física, producen respuestas que, en muchas ocasiones, presentan limitaciones tanto en la construcción de significados -a nivel conceptual, matemático/simbólico y gráfico- como en la construcción del texto -a nivel léxico, semántico y sintáctico- (Macías y Maturano, 2004). Cuando esas respuestas involucran explicaciones, hemos encontrado en estudios anteriores que los estudiantes, en algunos casos, tienen dificultades para identificar y explicitar los principios teóricos que atañen al problema planteado, en otros casos no los integran a la explicación, o no expresan de manera adecuada las relaciones causales en sus respuestas (Maturano, Soliveres y Rudolph, 2015). Por esto, en las clases de ciencias los estudiantes deberían tener oportunidades de desarrollar habilidades para producir explicaciones (Concari, 2001). En este trabajo presentamos un diagnóstico de dificultades en este aspecto y la implementación de un modelo de escritura de explicaciones en clases de Física con estudiantes universitarios.

II. MARCO TEÓRICO

La Lingüística Sistémico-Funcional proporciona un marco descriptivo e interpretativo que considera la lengua como un recurso estratégico que construye significados. Se concentra en el análisis de productos auténticos de la interacción social (textos), a los que considera en relación con el contexto social y cultural en el cual se negocian. Desde esta perspectiva, un texto se puede describir en términos de dos variables que se complementan: el registro, o contexto situacional inmediato en el que el texto se produce, y el género, o contexto cultural que establece el propósito general de la interacción, entre otros aspectos. La noción de género que guía esta investigación se asocia con el trabajo desarrollado en las tres últimas décadas por la denominada escuela de género de Sydney, la cual ha diseñado e implementado programas de alfabetización basados en géneros en los diferentes niveles educativos en Australia. La Teoría de Género Sistémico-Funcional intenta especificar cómo una cultura, como sistema de géneros, organiza este potencial de significado en fases o etapas de acuerdo con el propósito social que se quiere lograr. Con ese fin, se han identificado y caracterizado un cierto número de géneros propios de los textos de ciencias entre los que se incluyen las explicaciones (Halliday y Martin, 2005; Martin y Rose, 2008). Una explicación intenta dar cuenta de cómo y/o por qué suceden los fenómenos. La estructura esquemática de una explicación consta de la identificación del fenómeno seguida por la etapa de explicación la cual se organiza en una secuencia lógica (Martin y Rose, 2008). En general, las explicaciones científicas van más allá de la descripción de un fenómeno observable (Tang, 2015). Según este autor, las explicaciones generalmente incluyen las causas subyacentes del fenómeno y, con mucha frecuencia, también invocan leyes, teorías o reglas generalizables, además de constructos o entidades no observables (como átomos, moléculas, energía, entre otros).

Las explicaciones científicas producidas por los estudiantes pueden analizarse de tres formas diferentes, en términos de su función, forma y nivel, aspectos de los cuales se interesan los filósofos de la ciencia, los lingüistas y los educadores en ciencias, respectivamente (Yeo y Gilbert, 2014). En consecuencia, teniendo en cuenta estos campos de investigación diferentes, surge un marco multidimensional que caracteriza la explicación científica en el contexto de la enseñanza de las ciencias.

Según su función, se distinguen cinco tipos de explicaciones: explicación intencional (¿por qué este fenómeno está siendo explicado?), explicación descriptiva (¿cuáles son las características de este fenómeno?), explicación interpretativa (¿de qué está compuesto este fenómeno? -en términos de entidades, a veces no observables, que muestran su naturaleza, su distribución espacial y cómo esa distribución cambia con el tiempo-), explicación causal (¿por qué el fenómeno se comporta como lo hace?) y explicación predictiva (¿cómo se comportará el fenómeno bajo otras condiciones especificadas?) (Gilbert, Boulter y Rutherford, 2000).

Tang (2015) ha elaborado una estrategia que permite analizar la forma en que se organiza una explicación. La misma está basada en la estructura propia de una explicación científica y busca ayudar a los alumnos a construir explicaciones en Física y en Química. Esta estrategia recibe el nombre de PRO (*Premise-Reasoning-Outcome*), Premisa-Razonamiento-Conclusión. La premisa es la base de la explicación, el punto de partida para el razonamiento o teorización que sigue. Se trata de una generalización o hecho conocido que es aceptado en la comunidad, la cual no requiere de justificación o elaboración en el contexto de la explicación (esto no implica que no se pueda cuestionar la validez de la

misma). Una vez establecida la premisa, la próxima etapa de la explicación es el proceso de razonamiento, que consiste en una serie de pasos lógicos unidos por conjunciones causales, temporales, comparativas o condicionales. Eventualmente, estas secuencias de razonamiento llevan a una conclusión sobre el fenómeno que está siendo explicado. A modo de ejemplo, Tang y Putra (2018) proponen una estructura de tres etapas para organizar la explicación de un fenómeno que implica la aplicación de una fuerza. En la tabla I presentamos una adaptación de dicha estructura.

TABLA I. Pasos para construir una explicación (adaptados de Tang y Putra, 2018).

Premisa (¿Qué leyes / principios / conceptos involucra el fenómeno?)	Cuando ..., una fuerza ... Según Newton ...
Razonamiento (¿Qué se deriva de la premisa en relación con el fenómeno?)	Debido a que ..., entonces ... Por lo tanto, ...
Conclusión (¿A qué conclusión se llega?)	Así, ...

Para evaluar el nivel de una explicación, pueden tenerse en cuenta tres aspectos: precisión, abstracción y complejidad (Yeo y Gilbert, 2014). La precisión está estrechamente vinculada con la posición en la evolución de la investigación acerca de un determinado fenómeno. En el aprendizaje de las ciencias, el nivel de precisión esperado tiene que ver con el contexto en el que se exige la explicación en relación con el nivel educativo del estudiante. La abstracción es el resultado de un proceso de simplificación en el que algunos aspectos de la entidad han sido omitidos o dejados de lado, y otros han sido agregados como parte de un proceso complejo que hace que los conceptos científicos pueden parecer alejados de la realidad y, a la vez, poseer propiedades concretas. La complejidad indica qué tan bien una explicación se alinea con la función de la pregunta formulada y cómo los diferentes elementos (partes de una explicación científica y herramientas semióticas) se ponen juntos para construir la explicación.

Una pedagogía centrada en el género implica hacer explícito ante los estudiantes el modo en que el lenguaje en uso construye significado y cómo lo hace en los diferentes géneros, prestando especial atención al contenido, la estructura de los textos y los patrones léxico-gramaticales para la realización del registro. El modelo australiano de escritura *Wheel Model* (Rothery, 1994) tiene el propósito de orientar a los alumnos hacia el control del género abordado. Consta de tres etapas: deconstrucción, construcción conjunta y construcción independiente. La deconstrucción consiste en introducir a los estudiantes en el abordaje de un ejemplar del género y analizar cómo está organizado para producir significados y cumplir el propósito social perseguido. Para esto, se analizan cuáles son algunos de los rasgos lingüísticos característicos, cómo se construye el tema del texto, cuál es la relación entre el escritor y su destinatario y cómo se organiza el flujo de la información. El segundo momento de la propuesta pedagógica consiste en la construcción conjunta del género en cuestión realizada por el grupo de estudiantes y mediada por el docente. Por último, en la construcción independiente se realiza la tarea individual de escritura. Cada una de las etapas de la propuesta está precedida y permeada por la negociación del campo y la determinación del contexto, es decir contexto de cultura -cuál es el propósito social del género, quiénes lo utilizan y por qué- y contexto de situación -el registro-.

Un análisis de las explicaciones construidas por estudiantes universitarios realizada anteriormente en el contexto en el que se ha desarrollado esta investigación muestra falencias para cuya superación no resultó suficiente indicar las dificultades en las producciones para que los estudiantes mejoren las explicaciones en un proceso de reescritura. El desarrollo de habilidades discursivas más complejas, como las que se involucran en una explicación, no se produjo sólo a partir del requerimiento de mejorar la escritura salvo en casos poco frecuentes, lo cual pone en evidencia la necesidad de abordar explícitamente las características del género explicación en la clase de Física (Maturano, Soliveres y Rudolph, 2015). Teniendo en cuenta los aportes teóricos expuestos, en esta investigación nos proponemos diagnosticar las dificultades de estudiantes universitarios para producir por escrito explicaciones que respondan a preguntas en Física, que involucran la predicción del comportamiento de un fenómeno bajo ciertas condiciones especificadas y la justificación del mismo, y evaluar la implementación del modelo de escritura antes mencionado.

III. METODOLOGÍA

La investigación realizada involucra un diagnóstico de las dificultades asociadas a la escritura de explicaciones y una propuesta de superación de las mismas con un grupo de estudiantes que cursan la

asignatura Física I en carreras de ciencias (Astronomía y Geofísica) en el ámbito de la Universidad Nacional de San Juan (N=15). El grupo está constituido por estudiantes que no han obtenido la regularidad en ciclos académicos anteriores, ya sea en esta asignatura o en sus correlativas, y cursan la materia como parte de un proceso de semestralización continua que intenta favorecer la permanencia en las carreras respectivas. Para promover el aprendizaje de los contenidos paulatinamente antes de las evaluaciones parciales, cada semana los estudiantes responden en forma escrita e individual preguntas extraídas de manuales universitarios de Física que involucran explicaciones sobre fenómenos sencillos que requieren la aplicación de contenidos ya trabajados previamente en las clases. En este contexto, las acciones desarrolladas como parte de la investigación fueron las siguientes:

A. Diagnóstico de dificultades en la escritura de explicaciones

Para caracterizar las dificultades en la escritura, los estudiantes respondieron la siguiente pregunta (Pregunta A), que involucra cuatro respuestas, debiendo explicar adecuadamente el fenómeno en cuestión: “Desde la azotea de un rascacielos, usted lanza una pelota verticalmente hacia arriba con rapidez v_0 y una pelota directamente hacia abajo con rapidez v_0 . (a) ¿Qué pelota tiene mayor rapidez cuando llega al suelo? (b) ¿Cuál llega al suelo primero? (c) ¿Cuál tiene un mayor desplazamiento cuando llega al suelo? (d) ¿Cuál ha recorrido la mayor distancia cuando llega al suelo?” (Young y Freedman, 2013, p.60). En el análisis de las respuestas tuvimos en cuenta los aspectos señalados en el marco teórico, tal como se detalla en la tabla II.

TABLA II. Aspectos analizados en las explicaciones.

Dimensiones de la explicación		Aspectos analizados La respuesta...
Función		¿explica la situación física planteada prediciendo el comportamiento de los fenómenos involucrados?
Forma		¿incluye contenido teórico? ¿explicita las causas subyacentes al fenómeno analizado y las relaciona con este? ¿responde la pregunta planteada?
Nivel	Precisión	¿se encuadra en el marco de la teoría de la Física que podría explicar el fenómeno?
	Abstracción	¿usa simplificaciones y/o modelos adecuados para analizar la situación planteada?
	Complejidad	¿selecciona de manera coherente los conceptos y leyes que permiten explicar el fenómeno desde el punto de vista disciplinar? ¿da cuenta de las variables que intervienen y las relaciona de forma suficiente con el fenómeno en estudio? ¿predice el fenómeno de manera correcta?

Los resultados obtenidos, que arrojan un total de 60 respuestas, ponen en evidencia dificultades que, confirmadas a través de una encuesta de reflexión metacognitiva, justifican la necesidad de un acompañamiento del docente disciplinar en el proceso de escritura requerido.

B. Propuesta de enseñanza de la escritura

La propuesta combina momentos de trabajo conjunto entre el docente y los estudiantes e instancias de trabajo individual según el modelo de escritura ya descrito en el marco teórico. La discusión acerca del género se llevó a cabo en una clase cuya duración fue de aproximadamente una hora. En primer lugar, se hizo una deconstrucción del género, seguida luego de una construcción conjunta de un ejemplar genérico, finalizando con la escritura individual de una explicación. En esta etapa solicitamos a los estudiantes que respondieran la siguiente pregunta (Pregunta B), que involucra dos respuestas, en forma escrita e individual:

Un proyectil se lanza desde la Tierra con una determinada velocidad inicial. Otro proyectil se lanza en la Luna con la misma velocidad inicial. Ignorando la resistencia del aire, ¿qué proyectil tendrá un alcance mayor? ¿cuál alcanzará mayor altitud? Tenga en cuenta que la aceleración de caída libre en la Luna es aproximadamente de $1,6 \text{ m/s}^2$. (Serway y Jewett, 2004, p. 97)

Obtuvimos en este caso 30 respuestas. Para analizar las respuestas de los estudiantes a las preguntas A y B, tuvimos en cuenta las dimensiones señaladas en la tabla II. En función del análisis realizado en esta investigación, consideramos:

- Respecto de la función: como las preguntas tienen una función predictiva, ya que los estudiantes deben anticipar el comportamiento de cada objeto, y causal, en cuanto deben justificar por qué el fenómeno se comporta de esa manera, analizamos si la respuesta predice y/o explica.
- Respecto de la forma: la inclusión de la teoría, de las causas asociadas al fenómeno y la organización de la respuesta en una estructura o secuencia lógica. Esta dimensión fue evaluada en función de la estructura propuesta en la tabla I.
- Respecto del nivel: debido a que todas las respuestas se encuadran en el marco de la Mecánica Clásica, no profundizamos en detalle acerca de la precisión. Asimismo, como todas las respuestas consideran a los móviles como partículas que se mueven en el vacío en una región donde la aceleración de la gravedad se supone constante, tampoco detallamos el nivel de abstracción en cada caso. El análisis realizado se centra especialmente en la complejidad de las respuestas desde el punto de vista disciplinar, por lo que evaluamos el modo (correcto/incorrecto; adecuado/inadecuado) en que se conjugan en los textos los elementos de la explicación en una producción coherente y significativa desde el punto de vista físico.

Estas consideraciones nos llevaron a examinar las respuestas a la luz de las siguientes categorías: en primer lugar, analizamos si la predicción/conclusión es correcta o no y, en segundo lugar, si la explicación es adecuada o no. En cada caso, identificamos la etapa de la explicación (premisa o razonamiento) en la que se ubican las dificultades.

IV. RESULTADOS

A. Diagnóstico de dificultades en la escritura de explicaciones

Los resultados obtenidos y las frecuencias absolutas (F) y porcentajes (p) correspondientes a la Pregunta A, sobre un total de 60 respuestas, son:

1. Predicciones correctas

- **explicación adecuada:** incluyen la premisa basada en ecuaciones de Cinemática, el razonamiento sustentado en la comparación solicitada y su relación con la teoría indicando las variables que toman o no el mismo valor para ambos móviles y la conclusión que explicita la respuesta a cada una de las preguntas formuladas (F=19; p=31,7%).

- **explicación inadecuada:** en las respuestas de esta categoría distinguimos dificultades:

- **en la premisa:** identifican cuál de los móviles cumple con la condición explicitada en la pregunta, pero fundamentan el razonamiento en enunciados incorrectos que forman parte de la premisa (F=1; p=1,6%).

- **en el razonamiento:** en esta etapa (a) omiten evaluar la influencia de alguna/s de la/s variable/s intervinientes o (b) justifican la respuesta en afirmaciones que no son antecedentes causales completos de las mismas (F=13; p=21,7%).

- **sin explicación:** las respuestas podrían estar basadas en la intuición, en la experiencia cotidiana o en algún razonamiento que los estudiantes no han logrado explicitar (F=4; p=6,7%).

2. Predicciones incorrectas

Las respuestas de esta categoría constituyen explicaciones inadecuadas cuyas dificultades se ubican:

- **en la premisa:** (a) confunden conceptos físicos que se utilizan en la explicación o (b) fundamentan la misma en enunciados teóricos incorrectos relacionando magnitudes físicas de forma inadecuada (F=6; p=10,0%).

- **en el razonamiento:** (a) hacen inferencias inadecuadas y/o incompletas a partir de la teoría por haber comparado valores correspondientes a diferentes condiciones físicas, por haber asignado valores incorrectos a alguna/s variable/s o por hacer inferencias a partir de relaciones poco claras entre eventos y/o conceptos/leyes de la Física; (b) incluyen enunciados que son válidos de forma independiente pero que han sido relacionados entre sí de forma inadecuada al establecer la comparación; (c) hacen un análisis incompleto de la situación; (d) centran el análisis en uno solo de los objetos sin incluir en la respuesta el comportamiento del otro o (e) justifican una respuesta intuitiva en una consecuencia de la misma (F=16; p=26,7%).

3. No incluye la predicción solicitada en la pregunta planteada: exponen por escrito su razonamiento pero no explicitan la respuesta a la pregunta formulada (F=1; p=1,6%).

Durante la implementación de la prueba diagnóstica, los estudiantes manifestaron oralmente dificultades para escribir las explicaciones solicitadas. Para evaluar mejor las causas del problema, aplicamos una encuesta de reflexión metacognitiva en la que debían puntuar, en escala de 1 (muy bajo) a 10 (excelente), los siguientes aspectos: (a) su conocimiento de la teoría, (b) la comprensión de la consigna/pregunta que lograron a partir de la lectura y (c) sus habilidades para escribir una explicación que justifique la respuesta dada en cada ítem. Los promedios obtenidos para cada uno de estos aspectos fueron: (a) 5,6; (b) 7,8; (c) 5,3. Notamos así que, como parte de un proceso de reflexión sobre su propio aprendizaje, los estudiantes manifiestan que sus dificultades se relacionan con el aprendizaje disciplinar y las habilidades de escritura más que con la comprensión de la pregunta planteada.

Del análisis de estos resultados surge que solo aproximadamente un tercio de las respuestas son adecuadas. Las principales dificultades detectadas, en orden de frecuencia decreciente, se centran en: (a) construir una secuencia lógica que muestre el razonamiento vinculando de forma coherente y completa todas las magnitudes físicas involucradas en el fenómeno y (b) identificar e incluir los enunciados teóricos en la premisa que permite explicar la situación. En muchos casos, las producciones de los estudiantes se caracterizan por el desorden y la falta de conexión de las ideas, lo que dificulta la comprensión y detección de dificultades por parte del docente.

B. Propuesta de enseñanza de la escritura

Detallamos a continuación las acciones desarrolladas en cada uno de los momentos de la clase.

B.1. Deconstrucción del género

Se trabajó sobre una pregunta y su respuesta proporcionada por el docente para analizar detalladamente su contenido y organización. Se presentó en primer lugar la siguiente pregunta:

Dos balas de cañón, A y B, se disparan desde el suelo con idéntica rapidez inicial, pero con ϕ_{0A} mayor que ϕ_{0B} (siendo ambos ángulos del primer cuadrante). Desprecie la resistencia del aire. ¿Cuál bala de cañón alcanza una mayor elevación? (Giancoli, 2008, p. 75)

Luego de leer la pregunta, el docente guio a los estudiantes para que analizaran cada uno de los datos que se explicitan en la consigna (por ejemplo: “*idéntica rapidez inicial*”, “ ϕ_{0A} mayor que ϕ_{0B} (siendo ambos ángulos del primer cuadrante)”, entre otras condiciones dadas de la situación física a analizar que se estipulan en el enunciado. Se discutieron también algunas interpretaciones erróneas posibles de la pregunta que fueron planteadas por los estudiantes (confusión altura máxima/alcance; ángulos diferentes/ángulos complementarios; entre otros). Los estudiantes intuitivamente indicaron que la bala A alcanzaría mayor altura, fundamentando sus explicaciones con el movimiento de sus manos trazando trayectorias en el aire de lo que podría ser el movimiento de las balas. El docente cuestionó la validez de esta respuesta intuitiva, ante lo cual los estudiantes reconocieron la necesidad de incluir teoría y de usar vocabulario de la disciplina para explicar físicamente la situación. A continuación, proporcionó la respuesta (que figura en la segunda columna de la tabla III) sin separar las etapas, guiando su análisis para que comprendan el texto, señalen los recursos que se usaron para producir significado y reconozcan la organización de la respuesta encontrando la estructura del género. Se pidió posteriormente a los estudiantes que identificaran las etapas del género y la función de cada una. Ellos detectaron, sin mediación del docente, que el texto estaba organizado en tres partes. Para denominarlas, un alumno propuso usar los términos Introducción-Desarrollo-Cierre y, otra estudiante llamarlas Hipótesis-Tesis-Conclusión. Identificaron enunciados teóricos generales en la primera parte, su aplicación a la situación planteada en la segunda y la respuesta a la pregunta en la tercera. Durante la discusión, el docente promovió que los estudiantes explicitaran los procesos que se plasmaban en cada etapa y se cuestionaran acerca de los recursos del lenguaje utilizados en cada una de las partes de la respuesta (marcas lingüísticas de comparación y de consecuencia, recursos para relacionar la teoría y la situación planteada en la pregunta, entre otros). Se consensuaron los pasos o etapas de la explicación y sus denominaciones, proponiendo las etapas y preguntas guía que se indicaron en la tabla I para la organización de las respuestas.

TABLA III. Respuesta analizada durante la deconstrucción del género.

PREMISA	<p>Cuando un proyectil es lanzado desde el origen de un sistema de referencia con velocidad \vec{v}_0 que forma un ángulo ϕ_0 con la horizontal, se mueve bajo la acción gravitatoria alcanzando una altura máxima que está dada por la siguiente ecuación:</p> $h = \frac{v_0^2 \text{sen}^2 \phi_0}{2g}$
RAZONAMIENTO	<p>En la situación planteada en la pregunta, el módulo de la velocidad inicial v_0 es igual para ambas balas. Suponemos que la aceleración g también es igual para ambas balas si se lanzan cerca de la superficie terrestre. Por lo tanto, el valor de la altura máxima h va a depender del valor del $\text{sen}\phi_0$. Así, como el ángulo de lanzamiento es mayor para la bala A que para la B, siendo ambos ángulos del primer cuadrante, entonces:</p> $\text{sen}\phi_{0A} > \text{sen}\phi_{0B}$ <p>Lo que implica que: $h_A > h_B$.</p>
CONCLUSIÓN	En consecuencia, la bala que alcanza mayor elevación es la bala A.

B.2. Construcción conjunta de un ejemplar genérico

En este momento de la clase, se llevó a cabo la escritura de otra explicación del mismo género para responder a otra pregunta diferente a la anterior sobre la misma situación física planteada. La pregunta proporcionada fue:

Dos balas de cañón, A y B, se disparan desde el suelo con idéntica rapidez inicial, pero con ϕ_{0A} mayor que ϕ_{0B} (siendo ambos ángulos del primer cuadrante). Desprecie la resistencia del aire. ¿Cuál permanece más tiempo en el aire? (Giancoli, 2008, p. 75)

Se debatieron las semejanzas y diferencias con la tarea antes realizada. Con el acompañamiento del docente, los estudiantes discutieron acerca de la información teórica necesaria para responder la pregunta y, teniendo en cuenta el esquema elaborado, fueron construyendo poco a poco la respuesta. El docente, cuando fue necesario, promovió la negociación de significados y el uso de recursos lingüísticos, escribiendo en el pizarrón una respuesta a la pregunta con los aportes del grupo.

B.3. Escritura individual

Analizando las respuestas de los estudiantes a la Pregunta B, en virtud de las categorías ya utilizadas con la Pregunta A, sobre un total de 30 respuestas, encontramos:

1) Predicciones correctas

- explicación adecuada*: incluyen, en una combinación de lenguaje verbal y lenguaje matemático, la comparación solicitada y su relación con la teoría, indicando las variables que toman o no el mismo valor para ambos móviles e incluyendo explícitamente la respuesta a cada una de las preguntas formuladas. En todas las respuestas de esta categoría se propone un razonamiento basado en la expresión deducida en la clase teórica correspondiente al alcance horizontal de un proyectil y a su altura máxima sobre el nivel de lanzamiento ($F=15$; $p=50\%$).
- explicación inadecuada*: las dificultades en la explicación se presentan en el razonamiento: (a) unen causalmente ideas que no se vinculan a través de una ley física sino que necesitan una cadena de relaciones causales para su explicación que no se incluye en la respuesta; (b) usan condiciones no especificadas en la pregunta, por ejemplo, asignando un valor al ángulo de lanzamiento; (c) vinculan las ideas mediante conectores inadecuados confundiendo causas y consecuencias; (d) construyen una producción incoherente; (e) omiten explicitar la influencia de alguna/s de las variables intervinientes, centrandose su atención en el valor de la aceleración de la gravedad para evaluar el alcance de cada proyectil sin indicar que la comparación es válida en este caso debido a que otras condiciones, como el ángulo de lanzamiento, son comunes para ambos objetos; (f) utilizan como fundamento teórico la ecuación correspondiente al tiempo que tarda un proyectil en alcanzar la altura máxima para predecir el alcance de cada proyectil, siendo así su razonamiento incompleto por cuanto omite indicar que hay una relación de proporcionalidad directa entre el alcance y el tiempo que el proyectil permanece en el aire por ser el movimiento horizontal un movimiento rectilíneo uniforme ($F=10$; $p=33,3\%$).

2) Predicciones incorrectas

Las respuestas de esta categoría constituyen explicaciones inadecuadas cuyas dificultades se ubican en el *razonamiento*: (a) fundamentan la explicación en enunciados teóricos correctos como parte de la premisa pero razonan inadecuadamente en términos de proporcionalidad entre las variables suponiendo una relación de proporcionalidad directa entre R y g, y entre h y g; (b) incluyen los enunciados teóricos que permitirían explicar la situación física pero no los utilizan en el razonamiento (F=4; p=13,3%).

3) No incluye la predicción solicitada en la pregunta planteada

El estudiante se abstiene de expresar una conclusión, fallando en la etapa de razonamiento ya que parte de las consideraciones teóricas adecuadas, pero no realiza las inferencias necesarias para interpretar el enunciado de la pregunta (F=1; p=3,4%).

En todos los casos, los estudiantes tuvieron en cuenta la estructura propuesta en la clase y organizaron la respuesta en tres etapas claramente diferenciadas. Notamos mejoras en la forma de las explicaciones, un aumento en la frecuencia relativa de predicciones correctas acompañadas de una explicación adecuada, una disminución significativa de respuestas que no contienen la etapa de razonamiento o conclusión, y la ausencia en esta instancia de respuestas sin explicación. Al culminar la aplicación de la experiencia, los estudiantes manifestaron oralmente al entregar el escrito al docente que la explicitación de la estructura les había ayudado en los siguientes aspectos: “Organizar las ideas”; “Ordenarse mejor para escribir la respuesta”; “Sirve para ayudarse cuando uno estudia para saber dónde focalizar”; “Me cuesta el razonamiento tanto en los problemas como en estos desarrollos, pero me ha servido muchísimo”. Consideraron, sin embargo, que tienen dificultades en lo que se refiere a “redactar” o “hablar explicando” (sic), para referirse a la construcción de relaciones lógicas entre las ideas que constituyen la explicación.

V. CONCLUSIONES

En este trabajo realizamos un diagnóstico en la escritura de explicaciones que responden preguntas de Física e implementamos un modelo de escritura en las clases disciplinares con estudiantes universitarios. Las dificultades encontradas en el diagnóstico muestran que la mayoría de las producciones exponen las ideas en forma desordenada, utilizan conectores inadecuados para expresar las relaciones lógicas entre dichas ideas, no incluyen los supuestos teóricos que sustentan la explicación basando su respuesta en la intuición y/o no expresan la respuesta a la pregunta.

Considerando esta situación inicial, los resultados obtenidos a partir de la implementación del modelo de escritura propuesto evidencian avances en las producciones respecto de: (a) la explicitación de la teoría asociada a la situación física planteada; (b) la identificación y el manejo adecuado de las variables intervinientes, y la inclusión de las relaciones causales y/o comparativas que sustentan un razonamiento apropiado para analizar la situación física, y (c) la inclusión de una respuesta explícita a la pregunta.

En base a lo expuesto consideramos que la implementación del modelo de escritura permitiría orientar tanto a los estudiantes como al docente. A los estudiantes les ayudaría a: conocer qué organización se pretende que tenga la explicación que se les solicita, recibir orientación del docente y ayuda de sus compañeros en la fase de construcción conjunta y enfrentar el desafío de construir un ejemplar genérico de forma independiente respetando ciertas características propias del género y del registro. Respecto del docente, le facilitaría la detección de dificultades y la implementación de estrategias que promuevan su superación.

Si bien la implementación de la propuesta no mejoraría por sí sola el proceso de aprendizaje disciplinar, ayudaría al estudiante a escribir y a razonar de forma más ordenada un género característico de las ciencias, como es la explicación predictiva y causal. Aunque la descripción realizada se limita, por razones de extensión, a las respuestas de los estudiantes sobre contenidos de Cinemática, el modelo de escritura se ha seguido utilizando en la asignatura para otros temas de Física. Consideramos que este modelo podría adaptarse para otros géneros y niveles educativos a fin de favorecer el acompañamiento en el proceso de escritura por parte del docente y la construcción del conocimiento académico disciplinar por parte de los estudiantes.

REFERENCIAS

Concari, S. B. (2001). Las teorías y modelos en la explicación científica: implicancias para la enseñanza de las ciencias. *Ciência & Educação (Bauru)*, 7(1), 85-94.

- Giancoli, D. (2008). *Física para ciências e engenhaira. Volumen I*. México: Pearson Educación.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. y Rutherford, M. (2000). Explanations with models in science education. En J. K. Gilbert y C. J. Boulter (Eds.), *Developing models in science education* (pp. 193–208). Dordrecht: Kluwer.
- Halliday, M. A. K. y Martin, J. R. (2005). *Writing Science. Literacy and Discursive Power*. London: The Palmer Press.
- Macías, A. y Maturano, C. (2004). ¿Qué dificultades tienen los alumnos para escribir sobre contenidos de Física? *Tarbiya: revista de investigación e innovación educativa*, 35, 85-104.
- Martin, J. R. y Rose, D. (2008). *Genre relations. Mapping culture*. London: Equinox.
- Martín-Díaz, M. J. (2013). Hablar ciencia: si no lo puedo explicar, no lo entiendo. *Revista Eureka sobre Enseñanza y Divulgación de las Ciencias*, 10(3), 291-306.
- Maturano, C., Soliveres, M. y Rudolph, C. (2015). Las explicaciones causales en clases de Física en la universidad. *Revista de Enseñanza de la Física*, 27(2), 175-182.
- Papadouris, N., Vokos, S. y Constantinou, C. P. (2018). The pursuit of a “better” explanation as an organizing framework for science teaching and learning. *Science Education*, 102(2), 219-237.
- Rothery, J. (1994). *Exploring Literacy in School English (Write it Right Resources for Literacy and Learning)*. Sidney: Metropolitan East Disadvantaged Schools Program.
- Sanmartí, N. (2007). Hablar, leer y escribir para aprender ciencia. En T. Álvarez (Dir.) *La competencia en comunicación lingüística en las áreas del currículo* (pp. 103 -128). Madrid: Ministerio de Educación y Ciencia.
- Serway, R. y Jewett, J. (2004) *Física I. Texto basado en cálculo*. México: Thomson Learning.
- Tang, K. S. (2015). The PRO instructional strategy in the construction of scientific explanations. *Teaching Science*, 61(4), 14-21.
- Tang, K. S. y Putra, G. B. S. (2018). Infusing Literacy into an Inquiry Instructional Model to Support Students’ Construction of Scientific Explanations. En *Global Developments in Literacy Research for Science Education*(pp. 281-300). Cham: Springer.
- Veel, R. (2000). Learning how to mean – scientifically speaking: apprenticeship into scientific discourse in the secondary school. En F. Christie y J. R. Martin (Eds.), *Genre and institutions: Social processes in the workplace and school* (pp. 161-195). London: Continuum Collection Series.
- Yeo, J. y Gilbert, J. K. (2014). Constructing a scientific explanation - A narrative account. *International Journal of Science Education*, 36(11), 1902-1935.
- Young, H. y Freedman, R. (2013). *Física Universitaria. Volumen I*. México: Pearson.