

Escritura de explicaciones condicionales en clases de Física

Writing conditional explanations in Physics classes

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

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

²*Departamento de Física y de Química. Facultad de Filosofía, Humanidades y Artes. Universidad Nacional de San Juan. Av. J. I. de La Roza 230 (O). CP 5400 San Juan. Argentina.*

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

REVISTA
DE
ENSEÑANZA
DE LA
FÍSICA

Resumen

La escritura de explicaciones basadas en principios teóricos y en el razonamiento lógico es una práctica habitual en las clases de Física. En este trabajo analizamos explicaciones condicionales de alumnos universitarios de dos carreras de la Universidad Nacional de San Juan (Argentina). Estas surgen a partir del planteo de una pregunta, referida al movimiento de un proyectil bajo la acción gravitatoria, que implica diversos efectos. Las variables analizadas son el campo y el género, plasmados en el contenido involucrado y la forma de organización de las producciones, respectivamente. Los resultados sugieren, en relación con el contenido, que algunos estudiantes tienen dificultades para identificar y explicitar los principios teóricos que permiten explicar la situación física, otros no los integran a la explicación o no expresan de manera adecuada las condiciones o factores variables del fenómeno físico y sus efectos. En relación con la organización, detectamos estructuras iterativas, en algunos casos desordenadas, que requerirían un abordaje específico en las clases.

Palabras clave: Escritura académica; Explicaciones condicionales; Física; Movimiento; Nivel universitario.

Abstract

Writing explanations based on theoretical principles and logical reasoning is a usual practice in the Physics classes. In this article, we analyze conditional explanations written by university students attending two different careers at Universidad Nacional de San Juan (Argentina). These arise from the posing of a question referred to the movement of a projectile under the gravitational action, which implies different effects. The variables analyzed are the field and the genre, reflected in the content involved and the organization of the productions, respectively. The results suggest, in relation to the content, that some students have difficulties to identify and make explicit the theoretical principles that allow to explain the physical situation, others do not integrate them to the explanation or do not express adequately the conditions or variable factors of the physical phenomenon and its effects. With regards to the organization, we detect iterative and in some cases disordered structures, that would require a specific approach in the classes.

Keywords: Academic writing; Conditional explanations; Physics; Movement; University level.

I. INTRODUCCIÓN

Investigaciones realizadas sobre escritura académica en universidades argentinas señalan que la lectura y la escritura son una fuente de dificultad para los estudiantes universitarios y uno de los factores que contribuyen a la deserción estudiantil (Carlino, 2007). Teniendo en cuenta esto, algunas universidades están poniendo en práctica acciones para revertir esta realidad, consistentes en su mayoría en la implementación de cursos o talleres de lectura y escritura (Carlino, 2006). Sin embargo, según esta autora, dichas acciones resultan remediales, no se sostienen en el tiempo ni se incluyen en el planeamiento curricular de las asignaturas, en parte porque algunos docentes consideran que no se debería enseñar a escribir en la universidad ya que asumen que los estudiantes de este nivel son autónomos.

Consideramos que la escritura en la universidad debería ser abordada por el docente de cada disciplina en función del campo -conocimiento que se construye- y del género -patrones globales de organización del texto que empaqueta ese conocimiento- (Dreyfus y otros, 2016). De este modo, adquiere relevancia el estudio de las producciones escritas de los estudiantes universitarios teniendo en cuenta los géneros propios de las disciplinas. Este trabajo analiza prácticas de escritura del género explicación de estudiantes que cursan Física en dos carreras universitarias de ciencias con el objetivo de caracterizar las producciones e identificar aquellos aspectos que requerirían intervención a fin de optimizar esta tarea, teniendo en cuenta las características del contenido disciplinar específico de Física y del género explicación.

II. MARCO TEÓRICO

La ciencia no está hecha ni se comunica a través del lenguaje verbal solamente. Los conceptos científicos son híbridos semióticos que se expresan a través de géneros multimedia, lo cual trae aparejado que hacer ciencia, hablar de ciencia, leer y escribir sobre ciencia implica necesariamente combinar el discurso verbal, expresiones matemáticas, representaciones gráficas visuales, entre otras operaciones (Lemke, 1998).

En el caso de la Física, algunos autores justifican la importancia de la enseñanza de esta disciplina basada en la comprensión de la modelización matemática ya desarrollada por la ciencia (Vizcaíno, 2016). Vizcaíno y Terrazán (2015) sostienen que en la enseñanza de la Física el sentido de los términos “explicar”, “lenguaje” y “matematización” se presentan de forma diferente a cómo se entienden en la evolución de esta disciplina, por lo que el aprendizaje de la Física implica el aprendizaje de cómo usar símbolos y relaciones entre símbolos para poder expresar ideas y construir explicaciones. Desde esta postura, enseñar Física implica enseñar a organizar representaciones de los fenómenos y orientar a los estudiantes para que encuentren relaciones entre imágenes, y entre imágenes y símbolos para que vayan construyendo un lenguaje para explicar los fenómenos y puedan expresar sus pensamientos en una forma tal en la que no podrían haberlo hecho sin la constitución de este lenguaje.

La escritura académica en Física requiere producir habitualmente explicaciones basadas en principios teóricos y en el razonamiento lógico (Veel, 2000). La explicación es una de las operaciones esenciales de las que se ocupa la ciencia, por lo que involucran en su formulación las teorías y los modelos (Concari, 2001). Así, en ciertas ramas de la Física, estas explicaciones se basan inicialmente en eventos visibles y gradualmente se hacen más complejas involucrando teorías y relaciones causales y condicionales.

En la última década, se han desarrollado numerosos estudios para promover tanto la explicación como la argumentación en las clases de ciencias (Tang, 2016). La explicación, según este autor, no puede considerarse como sinónimo de la argumentación ya que esta última intenta persuadir sobre un punto de vista determinado. Aunque se han desarrollado numerosas investigaciones empíricas para apoyar las argumentaciones en las clases de ciencias por parte de los estudiantes (Sanmartí y otros, 2009; Solbes y otros, 2010; Pinochet, 2015; Ramos y otros, 2017), se destaca la falta de estudios que profundicen en las explicaciones subyacentes a los fenómenos y hay pocas intervenciones similares diseñadas para apoyar la construcción de explicaciones. Tampoco hay muchos estudios que apoyen explícitamente a los estudiantes a utilizar los conocimientos científicos aceptados (teorías, leyes, modelos) para construir explicaciones científicas acerca de por qué o cómo ocurren los fenómenos naturales (Tang, 2016). En investigaciones anteriores de nuestro equipo de trabajo hemos ahondado en la escritura de explicaciones factoriales y en la implementación de un modelo para superar las dificultades (Maturano y otros, 2015, 2018).

En el marco de la Lingüística Sistémico-Funcional (en adelante LSF), en los últimos treinta años, investigadores pertenecientes a la denominada Escuela de Sydney han examinado las características generalizables de los textos, es decir, cómo están estructurados los géneros y los recursos lingüísticos necesarios para construir los significados (Veel, 2000; Halliday y Martin, 2005; Martin y Rose, 2008; Rose y Martin, 2012). Desde esta perspectiva, los estudiantes no solo necesitan conocer sobre la disciplina, sino también ser capaces de transferir este conocimiento por escrito, usando estructuras propias del género que se quiere producir que concuerden con las de la comunidad académica a la cual está dirigido. Por lo tanto, las habilidades de escritura deberían practicarse y reforzarse en y a través de las disciplinas (Jones, 2004).

A partir de estos estudios, Martin y Rose (2008) han formulado generalizaciones sobre los géneros de la ciencia y han identificado cuatro grandes familias de géneros que se refieren a fenómenos del mundo natural de cuatro maneras diferentes. Así, distinguen entre informes, que describen el mundo natural; explicaciones, que se centran en cómo o por qué suceden los procesos naturales; procedimientos, que instruyen sobre cómo realizar una secuencia de actividades y recuentos de procedimientos, que interpretan y recuentan lo observado.

La estructura típica para el género explicación comienza especificando el evento o fenómeno, seguido por una secuencia que lo explica, es decir, la etapa de explicación. Dentro de este género, se distinguen diferentes tipos, a saber: secuencial (explica cómo se produce un fenómeno mediante una secuencia sim-

ple de causas y efectos usando relaciones causales obligatorias), factorial (explica fenómenos con base en múltiples factores o causas), de consecuencia (se centra en un evento simple que puede tener dos o más consecuencias en el mundo natural) y condicional (explica fenómenos cuyos efectos son contingentes a factores o condiciones variables). A los fines de este trabajo, nos centramos en la explicación condicional, que se caracteriza por la existencia de una relación obligatoria entre el fenómeno y las condiciones, es decir, si se cumplen ciertas condiciones el efecto que sigue es obligatorio (Martin y Rose, 2008).

Para ayudar a los estudiantes a construir explicaciones científicas, Tang (2016) propone una estructura de *premisa, razonamiento, conclusión*, llamada –por su sigla en inglés- estrategia P-R-O (*premise, reasoning, outcome*), conceptualizada en el marco de la LSF. La premisa es la base de la explicación, el punto de partida para el razonamiento 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 es el proceso de razonamiento, que consiste en una serie de pasos lógicos unidos por conjunciones causales, temporales, comparativas, entre otras. 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. Etapas de una explicación (adaptados de Tang y Putra, 2018).

Etapas	Marcas lingüísticas
Premisa (¿Qué leyes / principios / conceptos involucra el fenómeno?)	Cuando... Según...
Razonamiento (¿Qué se deriva de la premisa en relación con el fenómeno?)	Si..., ... Dependiendo de ..., entonces...
Conclusión (¿A qué conclusión se llega?)	Así, ... Por lo tanto, ...

A su vez, algunos investigadores como Papadouris y otros (2018) consideran que, en el abordaje de las explicaciones, dos preguntas fundamentales son ¿cuáles son los rasgos clave de la explicación científica?, y ¿cómo pueden usarse dichos rasgos para evaluar la adecuación de una explicación? En un intento por responder tales interrogantes, estos autores capitalizan tres características epistemológicas clave de una buena explicación para los propósitos de la enseñanza y el aprendizaje de la ciencia: a) validez empírica (alineamiento o correspondencia entre las predicciones y los datos empíricos); b) poder interpretativo (coherencia de la explicación de tal modo que el fenómeno sea comprensible y verosímil); c) grado de generalización (aplicable a otras situaciones). Estos rasgos se pueden concebir como un conjunto de criterios para evaluar la adecuación de explicaciones alternativas sobre un fenómeno dado.

En este estudio, nos interesa analizar el contenido y la estructura de explicaciones condicionales, las cuales modelizan un evento causal con probabilidad, escritas en la clase de Física por estudiantes universitarios que no han recibido instrucciones previas sobre este género.

III. METODOLOGÍA

La muestra seleccionada está constituida por 40 estudiantes universitarios de primer año de carreras de ciencias de la Universidad Nacional de San Juan (Argentina). El instrumento utilizado incluye el planteo de una pregunta acerca de una situación física, cuya respuesta requiere la escritura de una explicación condicional. La aplicación de este instrumento se realizó después de haber asistido a clases sobre contenidos relacionados con el movimiento de proyectiles, como parte de una evaluación de proceso de la asignatura Física I, en la que se abordaron contenidos de Mecánica. La pregunta seleccionada para promover la producción de la explicación condicional se refiere al alcance horizontal de dos balas que son lanzadas con la misma velocidad y diferente ángulo de inclinación. Esta fue extraída de la sección de preguntas complementarias de un manual universitario de Física correspondiente al capítulo que aborda contenidos sobre cinemática en dos o en tres dimensiones y vectores. La situación física que fue proporcionada a los estudiantes es: “*Dos balas de cañón, A y B, se disparan desde el suelo con idéntica rapidez inicial, pero con ϕ_A mayor que ϕ_B , (ambos ángulos del primer cuadrante). Desprecia la resistencia del aire. ¿Cuál viaja más lejos? Explica tu respuesta.*” (Giancoli, 2008, p. 75).

En función del marco teórico, en la tabla II proponemos la estructura y el contenido que debería tener una explicación condicional adecuada del fenómeno. Teniendo en cuenta el grado de generalización con que podría responderse la pregunta, consideramos que las condiciones pueden expresarse en distintos niveles. La condición expresada en términos de la mayor generalización posible sería centrar la atención en cuál de los ángulos se acerca más a 45°, ángulo para el que se obtiene el máximo alcance (Nivel 1). En un grado menor de generalización (Nivel 2) se pueden distinguir las siguientes posibilidades: los dos ángulos menores a 45°, los dos mayores a 45°, uno igual a 45° y el otro diferente, uno mayor y uno menor que 45°, o ambos complementarios. Un grado menor de generalización (Nivel 3) correspondería a expresar casos particulares mediante ejemplos de valores numéricos de pares de ángulos que cumplan las condiciones expresadas.

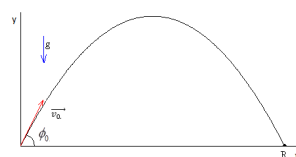
Para procesar los resultados obtenidos, evaluamos los siguientes aspectos en las respuestas:

- aspectos referidos al contenido: la adecuación de la teoría involucrada en la explicación tanto en relación con la Física como con la Matemática; el poder interpretativo y nivel de generalización del razonamiento; el lenguaje en que se expresan los contenidos (verbal, matemático y gráfico); la adecuación y validez empírica de la respuesta.

- aspectos referidos a la forma en que los estudiantes organizaron su producción: estructura (en función de la estructura P-R-O de la explicación detallada en el marco teórico) y recursos lingüísticos utilizados (marcas lingüísticas que evidencian relaciones condicionales entre las ideas).

TABLA II. Explicación del fenómeno en función de la teoría para cada nivel de generalización propuesto.

Premisa o teoría en función de la pregunta (P)	
El alcance horizontal de un proyectil R puede calcularse como: $R = \frac{v_0^2 \text{sen} 2\phi_0}{g}$	
Razonamiento (R) y Conclusión o Respuesta a la pregunta (O)	
<p>Consideración de las condiciones iniciales o condiciones fijas (establecidas en el enunciado) Despreciando la resistencia del aire, la aceleración de ambas balas es igual a la aceleración de la gravedad, $g = -9,8 \text{ m/s}^2$. Por lo tanto, ambas balas tienen la misma aceleración. Además, ambas balas tienen igual rapidez inicial de lanzamiento v_0.</p> <p>Bala A: velocidad inicial que forma un ángulo ϕ_{0A} con el eje +x, de módulo v_0 Bala B: velocidad inicial que forma un ángulo ϕ_{0B} con el eje +x, de módulo v_0</p> <p>Por otra parte, puede suponerse que los movimientos de ambas pelotas poseen las mismas condiciones fijas en lo que se refiere a posición inicial (ambas se disparan desde el suelo) y posición final (el suelo).</p>	
<p>Nivel 1: Expresión de las condiciones con alto grado de generalización Si:</p> <ul style="list-style-type: none"> - el módulo de la velocidad inicial es igual para ambas balas - la aceleración es igual para ambas balas - el ángulo de lanzamiento es mayor para la bala A que para la B, siendo ambos ángulos del primer cuadrante. <p>La bala que llega más lejos será aquella que haga máxima la función $\text{sen} 2\phi_0$, lo cual ocurre cuando ϕ_0 se acerca a 45° ($\text{sen} 2\phi_{0A} = 1$ en dicho caso).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si ϕ_{0A} se acerca más a 45° que ϕ_{0B}, la bala A llegará más lejos. - Si ϕ_{0B} se acerca más a 45° que ϕ_{0A}, la bala B llegará más lejos. - Si ϕ_{0B} y ϕ_{0A} se acercan en la misma medida a 45°, ambas balas llegarán al mismo punto. 	
<p>Nivel 2: Expresión de las condiciones con grado medio de generalización especificando en forma general las diferentes condiciones que pueden darse para las relaciones entre los ángulos Si el módulo de la velocidad inicial es igual para ambas balas, la aceleración es igual para ambas balas, el ángulo de lanzamiento es mayor para la bala A que para la B, siendo ambos ángulos del primer cuadrante, por lo tanto:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Si $\phi_{0A} \leq 45^\circ$, entonces la bala A llegará más lejos. - Si $\phi_{0B} \geq 45^\circ$, entonces la bala B llegará más lejos. - Si $\phi_{0A} > 45^\circ$ y $\phi_{0B} < 45^\circ$, la bala cuyo ángulo esté más cercano a 45° llegará más lejos. - Si ϕ_{0A} y ϕ_{0B} son complementarios, llegarán al mismo punto en el suelo. 	
<p>Nivel 3: Expresión de las condiciones en forma específica indicando casos particulares de pares de ángulos del primer cuadrante Los pares de ángulos de lanzamiento correspondientes al primer cuadrante que podrían considerarse son infinitos. Una vez especificadas las condiciones fijas dadas en el enunciado, una de las infinitas respuestas posibles sería: Si $\phi_{0A} = 40^\circ$ y $\phi_{0B} = 30^\circ$, entonces la bala A llegará más lejos.</p>	



IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Analizamos las producciones teniendo en cuenta los aspectos señalados al describir el marco metodológico, obteniendo los resultados que presentamos a continuación. Cuando citamos producciones de estudiantes, indicamos la referencia como (E) seguida de un número asignado al azar a cada sujeto.

A. Aspectos referidos al contenido

A.1. Adecuación de la teoría

La teoría constituye en este caso la premisa en la cual se sustenta la explicación. Casi la mitad de los estudiantes incluyen la teoría en sus respuestas (47,5%). En algunos casos dicha teoría es adecuada para explicar el fenómeno y se incluye ya sea: (a) explicitando la ecuación que permite calcular el alcance de un proyectil (20,0%); (b) expresando la dependencia del alcance con respecto al ángulo de lanzamiento (única magnitud física 'variable' en la ecuación, dadas las condiciones fijas para v_0 indicadas en el planteo) (10,0%) o (c) analizando a partir de la ecuación que el mayor alcance se obtiene para $\phi_0 = 45^\circ$ cuando $\text{sen}2\phi_0 = 1$ (2,5%). En ciertos casos, la inclusión de la teoría no se realiza de un modo totalmente correcto, cometiendo errores generalmente en la matematización de la relación que, a veces, no tienen impacto directo en el razonamiento (por ejemplo, al indicar $\text{sen}^2 2\phi$ en vez de $\text{sen}2\phi$) (5,0%), pero en otro caso involucra una expresión que implica consecuencias que contradicen la física del problema (por ejemplo, al indicar $\text{cos}2\phi$ en vez de $\text{sen}2\phi$) (2,5%). Algunos estudiantes incluyen, en sus respuestas, contenidos que, si bien están vinculados con el fenómeno, no constituyen una premisa a partir de la cual se pueda deducir fácilmente la relación entre el alcance del proyectil y el ángulo de lanzamiento. Esto ocurre, por ejemplo, al intentar fundamentar de manera directa la explicación únicamente en la ecuación de la trayectoria expresada ya sea en forma explícita o en función del tiempo (7,5%).

El resto de los estudiantes (52,5%) omite referencias a la teoría en su producción. En algunos casos dan por supuestos los contenidos teóricos, usándolos en la etapa de razonamiento sin explicitarlos previamente y, en otros casos, no hacen uso de la teoría, respondiendo desde la intuición, o desde su propia experiencia en el mundo natural. Esto último ocurre en el siguiente ejemplo (los gráficos se muestran en la figura 1):

(Gráfico 1) En este caso viaja más lejos la de menor ángulo porque este ángulo permite que su trayectoria no tenga gran altura máxima, pero sí un gran alcance. (Gráfico 2) En este caso la bala que tiene mayor ángulo tiene mayor alcance pues la que tiene menor ángulo es demasiado pequeño y no le permite llegar lejos. (Gráfico 3) En este caso tienen el mismo alcance pues son ángulos complementarios... (E3)

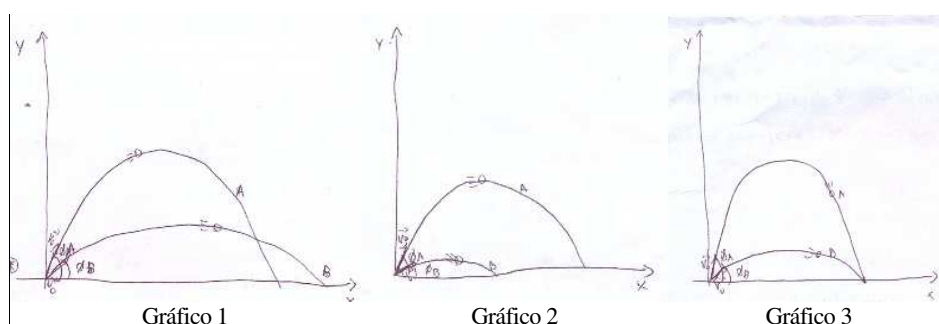


FIGURA 1. Gráficos que acompañan la respuesta del estudiante E3.

En los dos primeros casos, el estudiante justifica relacionando intuitivamente el ángulo de lanzamiento, la altura máxima alcanzada y el alcance horizontal del proyectil.

A.2. Poder interpretativo y nivel de generalización del razonamiento involucrado en la explicación

El 97,5% de los estudiantes incluye en su producción un razonamiento para dar la respuesta a la pregunta planteada. Un solo estudiante (2,5%) brinda directamente una respuesta sin fundamentarla en modo alguno.

La mayoría de los estudiantes (67,5%) no incluye en sus explicaciones las condiciones fijas expresadas en el enunciado de la pregunta, lo cual puede evidenciar que lo tuvieron en cuenta, pero no consideraron importante incluirlas o sencillamente no las consideraron. Las condiciones fijas que explicitaron en

orden de frecuencia decreciente de inclusión son: igual rapidez inicial (17,5%), $\phi_A > \phi_B$ (17,5%), igual aceleración de la gravedad (7,5%), igual posición de disparo (7,5%) y que ϕ_A y ϕ_B son ángulos del primer cuadrante (2,5%). La suma de estos porcentajes supera el total de estudiantes que incluyeron las condiciones fijas ya que algunos mencionaron más de una.

Examinar el poder interpretativo del razonamiento propuesto por los estudiantes implica analizar la forma en que la explicación da cuenta del fenómeno en forma verosímil y comprensible. En ciertos casos, esto no se alcanza porque no se incluye la teoría o porque se parte de la teoría inadecuada para explicar el fenómeno. Por ejemplo, si la premisa es la ecuación de la trayectoria, los estudiantes no logran establecer una relación directa por lo que las conclusiones que pueden extraer a partir de la teoría no son verosímiles. Por ejemplo, “La bala de cañón B llega más lejos la componente en x es más grande que A. $v_{xB} > v_{xA}$; B: $x = x_0 + v_{xB}t$; A: $x = x_0 + v_{xA}t$ ” (E36)

En lo que se refiere a los niveles de generalización del razonamiento que se explicitaron en detalle en la tabla II, los resultados obtenidos fueron:

Nivel 1 (22,5%), una respuesta representativa de este nivel es:

La bala de cañón que viaje más lejos es aquella bala cuyo ángulo ϕ_0 se aproxime hacia 45° porque según la fórmula de alcance en un tiro parabólico $R = \frac{v_0^2 \text{sen} 2\phi_0}{g}$, si se reemplaza en $\phi_0 = 45^\circ$ es el mayor resultado posible (para ángulos del primer cuadrante), entonces, dependiendo de que la bala A o B esté más cerca de un ángulo de 45° ($\phi_0 = 45^\circ$), esa bala será la que tenga mayor alcance; teniendo en cuenta además que sus velocidades son idénticas y que se disparan desde el suelo.(E6)

Esta producción, si bien no indica como respuesta cuál bala (A o B) llegará más lejos, logra explicar el fenómeno con el mayor grado de generalización posible. En otro caso de respuesta encuadrada en este mismo nivel, el estudiante expresa: “No podemos estar seguros. Llegará más lejos aquel cuyo ángulo de tiro se aproxime más a 45° . Lo lejos que llegue es proporcional a $\text{sen}\phi \cdot \text{cos}\phi$ ” (E20). En este caso, en virtud del nivel de generalización, la expresión de inseguridad que le impide al estudiante dar una respuesta concreta se referiría a que no puede especificar si se trata de la bala A o B, lo cual puede adjudicarse a que advierte el carácter condicional de la explicación involucrada pero no pretende precisar la situación física en detalle.

Nivel 2 (30,0%): la dificultad hallada en las respuestas que se encuadran en este nivel es que no se abarcan todas las posibles combinaciones para los ángulos de lanzamiento. Por ejemplo:

Viajará más lejos según el ángulo con el que haya sido lanzada la bala: $R = \frac{v_0^2 \text{sen} 2\phi_0}{g}$; $90^\circ \geq \phi_0 \geq 0^\circ$. El alcance es máximo cuando es lanzado a 45° , si ϕ_A es complementario con ϕ_B , es decir que $\phi_A + \phi_B = 90^\circ$, ambas balas llegan a la misma distancia, como $\phi_A > \phi_B$, el alcance va a depender del ángulo con que haya sido lanzada cada bala, ya que la v_0 y la g son iguales en ambos casos y esto da una constante.(E19)

En este caso, el estudiante solo analiza algunas posibilidades o condiciones para los ángulos y deja sin expresar el resto. Para indicar esta falta de información, usa la expresión “va a depender”. Contabilizando las posibles combinaciones de pares de ángulos, obtenemos mayor frecuencia para ángulos complementarios y para situaciones en que uno de los ángulos toma el valor 45° .

Nivel 3 (15,0%): como ejemplo de respuesta de este nivel, mencionamos la producción de un estudiante que considera varios pares de valores de ángulos de lanzamiento, expresando valores numéricos:

Depende del valor del ángulo de cada proyectil. El ángulo ideal para que el proyectil tenga una mayor distancia es de 45° . Por lo tanto, si una de las balas tiene ese ángulo esta sería la que más lejos llegue. Por ejemplo: Si $\phi_A = 65^\circ$ y $\phi_B = 45^\circ$, el proyectil B alcanza mayor desplazamiento. Pero si $\phi_A = 75^\circ$ y $\phi_B = 15^\circ$, sus desplazamientos son iguales. Pero si $\phi_A = 45^\circ$ y $\phi_B = 25^\circ$, el desplazamiento de A es mayor.(E1)

El estudiante considera ejemplos tales que uno de los ángulos cumple la condición de alcance máximo y el otro es mayor o menor, y la condición de ángulos complementarios. No analiza qué sucede si ambos son menores a 45° , ambos mayores a ese valor, o uno menor y el otro mayor.

En el 30,0% restante de las respuestas no ha sido posible identificar niveles de generalización en el razonamiento ya sea porque es intuitivo o se basa en teoría inadecuada.

A.3. Lenguaje en que se expresan los contenidos

Para expresar la teoría o premisa (P), un 27,5% de los estudiantes usó el lenguaje verbal y matemático en forma complementaria. En otros casos solo lo hicieron indicando la ecuación matemática correspondiente (15,0%) o solamente en forma verbal (5,0%).

En la etapa de razonamiento (R), los sistemas utilizados para expresar las ideas fueron: solo el sistema verbal (40,0%); el sistema verbal combinado con el sistema matemático a través del uso de símbolos y ecuaciones (40,0%); el sistema verbal combinado con el sistema gráfico a través de gráficos cartesianos que representan las trayectorias seguidas por las balas y, en algunos casos, otras cantidades físicas que caracterizan el movimiento (12,5%) o los tres sistemas en forma simultánea (5,0%).

Para indicar la conclusión o respuesta (O), en su mayoría emplearon solo el sistema verbal identificando el proyectil que llega más lejos en cada situación (75,0%). Sin embargo, en ciertos casos utilizaron además símbolos matemáticos (7,5%), indicaron su respuesta en una gráfica de la trayectoria (12,5%), o emplearon los tres sistemas (2,5%).

A.4. Adecuación y validez empírica de la respuesta

El 97,5% de los estudiantes escribe al menos una respuesta a la pregunta. En cada caso, la cantidad de respuestas se relaciona directamente con el nivel de generalización del razonamiento. Cabe destacar que, en ciertos casos, como el ya citado ejemplo (E36), la conclusión a la que se arriba no tiene correlato directo con la experiencia física, puesto que se afirma, sin discusión, que una de las balas llegará más lejos siempre.

B. Aspectos referidos a la forma en que los estudiantes organizaron su producción

B.1. Estructura

Respecto de la organización de las producciones de los estudiantes, relevamos si las mismas respondían a la estructura P-R-O en el orden propuesto por los autores. Notamos que la premisa (P) es incluida por el 47,5% de los estudiantes, aunque no en todos los casos en posición inicial, solo el 22,5% lo hace en la primera etapa; el 15% la incluye luego de la conclusión (la cual aparece como primera etapa) y el 10,0% en posición final. En cuanto al razonamiento (R), el 97,5% de los estudiantes lo incluye: el 32,5% lo hace después de la premisa, el 47,5% después de la conclusión y el 17,5% como primera etapa antes de la conclusión. Cabe señalar que, dependiendo del grado de generalización del razonamiento, la estructura R-O aparece repetida más de una vez, sobre todo cuando las condiciones están expresadas en los Niveles 2 y 3. Finalmente, respecto de la conclusión o respuesta (O), el 97,5% de los estudiantes responde a la pregunta planteada en la situación física. La conclusión se incluye después del razonamiento en las producciones del 30,0% de los estudiantes (algunas de las cuales presenta una estructura iterativa R-O) como primera etapa de la explicación en el 57,5% de los casos y después de la premisa en el 2,5%; un estudiante (2,5%) solo incluyó la conclusión o respuesta como única expresión. El 5% restante presenta varias conclusiones después y antes del razonamiento o después de la premisa. Cabe destacar que, solamente el 7,5% de los estudiantes organizaron su explicación con el orden de la estructura P-R-O.

B.2. Recursos lingüísticos utilizados

En relación con las marcas lingüísticas de condicionalidad encontradas en la etapa del razonamiento (R) de las producciones, encontramos que cuando los estudiantes explicitan las condiciones fijas en lenguaje verbal usan las siguientes realizaciones léxico-gramaticales: “*Teniendo en cuenta además que...*”, “*Como...siempre...*”, “*...siendo siempre...*”, “*Como...*”, “*Como en este caso...*” y “*Como...ya que...*”. Respecto de las condiciones variables, notamos que el 32,5% no incluyó construcciones condicionales. Los estudiantes que sí las usaron (67,5%), en su mayoría las expresaron con realizaciones tales como: “*Depende de...*”, “*Si..., ...*”, “*Solo si...*”, “*Suponiendo que..., entonces...*”, “*...si suponemos que...*”, “*...va a depender de...*”, “*...en el caso de que...*”, “*Si..., entonces...*”; y verbos en potencial como, por ejemplo: “*daría*” y “*sería*”.

V. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en esta investigación muestran potencialidades y dificultades relacionadas con la escritura de explicaciones que pueden considerarse desde dos puntos de vista diferentes, pero complementarios.

Por una parte, relevamos aspectos vinculados con los aprendizajes del contenido en el campo disciplinar de la Física. Notamos que las producciones de los estudiantes logran un manejo combinado y completo del lenguaje verbal, la matematización y del lenguaje gráfico que sirve para explicar el fenómeno. Sin embargo, encontramos dificultades relacionadas con:

- Fallas para identificar los contenidos teóricos que permiten explicar la situación física dada;
- Imprecisiones en el manejo de las ecuaciones, ya sea para recordar una ecuación, demostrarla, valorar la influencia de las diferentes variables intervinientes, entre otros problemas que se relacionan tanto con la matematización como con la interpretación física del fenómeno;
- Falta de inclusión en muchos casos de los aspectos teóricos necesarios para sustentar la explicación, lo que deriva en intentos desordenados para establecer relaciones entre las distintas cantidades físicas o en explicaciones intuitivas que no son suficientes en este nivel educativo;
- Omisiones frecuentes de la consideración de las condiciones fijas pautadas en el enunciado de la pregunta, lo cual hubiera permitido simplificar el análisis a partir de la ecuación teórica;
- Manejo inadecuado o incompleto de las diferentes combinaciones de pares de ángulos que generan las diferentes condiciones cuyos efectos físicos son distintos;
- Contradicciones entre las respuestas dadas y la experiencia física, que pueden asociarse a la tolerancia de fallas en la verosimilitud de las explicaciones la cual se manifiesta en respuestas sin validez empírica que contradicen su experiencia en el mundo físico.

Por otra parte, también encontramos dificultades relacionadas con la organización de la producción escrita que nos permiten observar que los estudiantes que incluyeron la premisa en primer lugar construyeron explicaciones sencillas y más coherentes. Como la estructura depende del nivel de generalización, no hay una única estructura válida para la explicación condicional. Así, para el Nivel 1 una estructura sencilla puede ser P-R-O, pero, para el Nivel 2, haría falta incluir tantas etapas de razonamiento y respuestas como condiciones se identifiquen, por lo que su estructura podría ser P-R-O-R-O-...-R-O.

A modo de conclusión, podemos señalar que escribir explicaciones como parte del proceso de aprendizaje en el ámbito académico propio de este campo disciplinar involucra hacer uso de la teoría como sustento, de la matematización como camino y de la experiencia física como correlato empírico de todos los enunciados a los que se arribe a partir de la relación lógica entre las ideas (expresadas mediante palabras, ecuaciones o gráficos). La expresión escrita que surja de esta compleja interacción se facilita mediante un modelo de organización de la explicación que transite la estructura P-R-O las veces que lo exijan las posibles condiciones físicas que admita la situación planteada. Suponer que los estudiantes universitarios han logrado las competencias lingüísticas necesarias para hacer esto sin ayuda, no haría más que negar sus dificultades de escritura. Así, los modelos propuestos por los lingüistas, como el utilizado en esta investigación, se constituyen en una herramienta útil para que el docente de ciencias pueda identificar las dificultades de los estudiantes al producir textos de la disciplina y acompañarlos en su superación.

REFERENCIAS

- Carlino, P. (2006). Concepciones y formas de enseñar escritura académica. *Signo & Seña. Procesos y prácticas de escritura en la educación superior*, 16,71-117.
- Carlino, P. (2007). ¿Qué nos dicen las investigaciones internacionales sobre escritura en la universidad? *Cuadernos de Psicopedagogía*, 4,21-40.
- Concari, S. B. (2001). Las teorías y modelos en la explicación científica: implicancias para la enseñanza de las ciencias. *Ciência & Educação*, 7(1),85-94.
- Dreyfus, S., Humphrey, S., Mahboob, A. y Martin, J. R. (2016). *Genre Pedagogy in Higher Education. The SLATE project*. UK: Palgrave Macmillan.
- Giancoli, D. (2008). *Física para ciências e engenheira*. Volumen I. México: Pearson Educación.
- Halliday, M. A. K. y Martin, J. R. (2005). *Writing science: Literacy and discursive power*. London: Taylor & Francis.
- Jones, J. (2004). Learning to write in the disciplines: the application of systemic functional linguistic theory to the teaching and research of student writing. En L., Ravelli, y R. A. Ellis (Eds.). *Analyzing academic writing: Contextualized frameworks*. London: Continuum.
- Lemke, J. (1998). Multiplying meaning: visual and verbal semiotics in scientific text. En J. Martin y R. Veel (Eds.). *Reading Science: critical and functional perspectives on scientific discourse*. London: Routledge.

- Martin, J. R. y Rose, D. (2008). *Genre relations: Mapping culture*. London: Equinox.
- 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.
- Maturano, C. I., Soliveres, M. A. y Rudolph, C. (2018). Implementación de un modelo de escritura de explicaciones en física a nivel universitario. *Revista de Enseñanza de la Física*, 30,151-159.
- 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.
- Pinochet, J. (2015). El modelo argumentativo de Toulmin y la educación en ciencias: una revisión argumentada. *Ciência & Educação*, 21(2),307-327.
- Ramos, W., Stipcich, S., Domínguez, A. y Mosquera, C. (2017). La formación en argumentación de futuros profesores de física: revisión de estudios actuales. *Revista de Enseñanza de la Física*, 29,121-128.
- Rose, D. y Martin, J. R. (2012). *Learning to write, reading to learn: Genre, knowledge and pedagogy in the Sydney School*. Sheffield: Equinox.
- Sanmartí, N., Pipitone Vela, M. C. y Sardà, A. (2009). Argumentación en clases de ciencias. *Enseñanza de las Ciencias*, (Extra),1709-1714.
- Solbes, J., Ruiz, J. J. y Furió, C. (2010). Debates y argumentación en las clases de física y química. *Alambique*, 63(1),65-75.
- Tang, K.S. (2016). Constructing Scientific Explanations through Premise-Reasoning-Outcome (P-R-O): An Exploratory Study to Scaffold Students in Structuring Written Explanations. *International Journal of Science Education*, 38(9),1415-1440.
- Tang, K. S. y Putra, G. B. S. (2018). Infusing Literacy into an Inquiry Instructional Model to Support Students' Construction of Scientific Explanations. En K. S. Tang y K. Danielsson (Eds.). *Global Developments in Literacy Research for Science Education*. 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*. London & New York: Continuum.
- Vizcaíno, D. F. (2016). Significados de matematización en la enseñanza de la física presentes en libros didácticos de física universitaria. *Tecné Episteme y Didaxis: TED*, Número Extraordinario.
- Vizcaino, D. y Terrazan, E. (2015) Diferencias trascendentales entre matematización de la física y matemática para la enseñanza de la física. *Revista de la Facultad de Ciencia y Tecnología, Tecné, Episteme y Didaxis*, 38,95-111.