

La triada discurso-teoría-experimento para el aprendizaje conceptual de los estudiantes del profesorado de física

The discourse-theory-experiment triad for the conceptual learning of physics teacher students

Carlos Saúl Buitrago Volcán^{1*} y Ma. Maite Andrés Zuñeda¹

¹Universidad Pedagógica Experimental Libertador - Pedagógico de Caracas. Venezuela

*E-mail: buitragoc36@gmail.com

Recibido el 15 de junio de 2021 | Aceptado el 1 de septiembre de 2021

Resumen

Se reporta la implementación de una propuesta de estructura modeladora del discurso orientadora del proceso didáctico para el aprendizaje conceptual de la física, centrada en situaciones problematizadas escolares de física concebidas desde la teoría de campos conceptuales y el aprendizaje significativo crítico y relacionadas con los conceptos teóricos/experimentales asociados al movimiento de una partícula en una y dos dimensiones y su posible clasificación. Las actividades didácticas ensayadas plantean la integración del discurso, la teoría y el experimento en una triada indisoluble. La implementación se llevó a cabo en un proceso de investigación acción con estudiantes universitarios para docencia en física. Del discurso de los estudiantes y sus respuestas a situaciones problema presentadas durante el proceso de enseñanza, se recabó información considerada como potenciales evidencias de su aprendizaje y desarrollo conceptual. Como resultado se puede referir que, ante las situaciones, los estudiantes dieron cuenta de nuevos y adecuados elementos del discurso y una variedad de conceptos cercanos a lo científico, consistentes con las situaciones propuestas, en un grado de aceptación favorable.

Palabras clave: Estructura modeladora del discurso; Teoría; Experimento; Desarrollo conceptual; Aprendizaje significativo crítico; Física.

Abstract

The research reports the implementation of a proposal for a modeling structure of the discourse orienting the didactic process for the conceptual learning of physics, focused on problematic school situations of physics conceived from the theory of conceptual fields and critical meaningful learning, and related to the theoretical / experimental concepts associated with the motion of a particle in one and two dimensions, and its possible classification. the rehearsed didactic activities propose the integration of discourse, theory and experiment in an indissoluble triad. The implementation was carried out in an action research process with university students for teaching in physics. from the discourse of the students and their responses to problem situations presented during the teaching process, information was collected considered as potential evidence of their learning and conceptual development. as a result, it can be said that before the situations, the students gave an account of new and adequate elements of the discourse and a variety of concepts close to the scientific, consistent with the proposed situations, in a favorable degree of acceptance

Keywords: Modeller structure of discourse; Theory; Experiment; Conceptual development; Meaningful critical learning; Physics.

I. INTRODUCCIÓN

La praxis educativa en física aún continúa desarrollándose con un docente que selecciona los contenidos de un programa, los organiza según su punto de vista y los trasmite, apoyado en la resolución de problemas de lápiz y papel, en un proceso comunicativo donde la información va en una sola vía -docente a estudiante, siendo este un receptor

www.revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF

REVISTA DE ENSEÑANZA DE LA FÍSICA, Vol. 33, no. 2 (2021)

105

La evaluación del presente artículo estuvo a cargo de la organización de la XIV Conferencia Interamericana de Educación en Física

pasivo. El docente realiza ejercicios rutinarios operacionales que son memorizados por repetición, esperando con poco éxito que el estudiante aplique los contenidos a diversas situaciones problemáticas escolares de física.

Esta praxis presenta una imagen de la ciencia que minimiza y tergiversa sus procesos e importancia, muestra a la disciplina sobresimplificada y mecánica. El receptor pasivo y acrítico interacciona poco o nada con los procesos de la ciencia en sus ámbitos teóricos, experimentales y aplicados y es poco consciente de su propio proceso de aprendizaje. Ello impacta poco en el desarrollo conceptual y en la construcción de un pensamiento científico.

En este sentido, pretendemos diseñar y evaluar un enfoque didáctico que inicialmente consideraba la complementariedad teoría-experimento (Buitrago, 2012) y actualmente lo ampliamos a la *triada discurso/teoría/experimento*, pues consideramos necesario integrar los tres aspectos para promover en los estudiantes el desarrollo del lenguaje y el uso de conceptos de física, en un ambiente de clase no tradicional. El enfoque está centrado en situaciones problematizadas escolares de física, concebidas desde la teoría de campos conceptuales, con secuencias innovadoras teórico/experimentales orientadas según una estructura modeladora del discurso (EMD) propuesta.

La EMD diseñada para orientar el proceso didáctico no tradicional con miras al aprendizaje conceptual de la física, ha sido evaluada en un primer ensayo de investigación-acción con estudiantes universitarios para docencia en física, abordando situaciones problematizadas con los conceptos teóricos/experimentales asociados al movimiento de una partícula en una y dos dimensiones. Este estudio está dirigido a responder las siguientes cuestiones:

1. ¿En qué medida la EMD permite orientar el desarrollo de la enseñanza no tradicional dirigida al aprendizaje de los tópicos de física organizados como un campo conceptual?
2. ¿Cómo progresa el discurso de los estudiantes y su desarrollo conceptual con la organización de la secuencia de actividades didácticas centradas en la triada?

A. Tres referentes teóricos de sustento

La propuesta de clase no tradicional, la triada *discurso/teoría/experimento*, toma aspectos de tres referentes: i) la teoría de campos conceptuales (Vergnaud, 1990), aplicada, inicialmente, en el ámbito de la enseñanza de matemática y luego, de las ciencias y otros campos de formación; ii) planteamientos sobre el discurso (Lemke, 1993; Perelman y Olbrechts-Tyteca, 1989), y por último, iii) principios del aprendizaje significativo crítico (Moreira, 2005).

i) La teoría de campos conceptuales, TCC, (Vergnaud, 1990) modela el proceso de aprendizaje, planteando que las personas activamos, construimos o modificamos esquemas cognitivos ante la necesidad de resolver situaciones. Estos esquemas incluyen conceptos y representaciones, reglas de acción que permiten hacer inferencias y predicciones para diseñar un plan de acción dirigido a alcanzar la meta. Si la situación es muy conocida, al reconocer la meta se activan de manera automática los esquemas asociados. En cambio, si la situación es novedosa, es posible que se activen esquemas que supone potencialmente efectivos, ocurriendo un proceso consciente de búsqueda de nueva información y operaciones que permitan actuar ante el problema. Es justo ante este tipo de situaciones que centramos la atención a efecto de promover aprendizajes.

En este trabajo, la TCC es empleada para organizar el contenido a enseñar, es decir, establecer una potencial secuencia de *clases de situaciones problema*, cuya complejidad cognitiva se incrementa de manera progresiva. Es decir, los esquemas (conceptos, relaciones y representaciones, y operaciones requeridas para elaborar el plan de acción resolutivo) adecuados para cada clase de situaciones son cada vez más amplios y formales.

ii) El discurso de la clase de Física se considera como la operación intelectual y social-afectiva, llevada a cabo entre los docentes y/o estudiantes. La estructura del discurso en el aula la concebimos conformada por tres dimensiones:

Dimensión 1: los conceptos del conocimiento físico y su estudio. Son parte de los modelos que representan a las teorías físicas, en buena medida determinan los contenidos del currículo. En esta dimensión, desde la TCC organizamos los contenidos relevantes como un sistema conceptual cognitivo, denominado campo conceptual desde la ciencia.

Dimensión 2: Los elementos propios de la lingüística (semántica, semiótica, pragmática, sintaxis, morfología, gramática) que son naturales de la estructura misma del lenguaje en su uso cotidiano, permita ir construyendo las capacidades y estructuras del discurso especializado. Además, en atención a la semántica del discurso de la ciencia, consideramos las relaciones propuestas por Lemke (1993) y, los esquemas argumentativos, la interacción entre los argumentos, y la amplitud y el orden del discurso planteados por Perelman y Olbrechts-Tyteca (1989).

Dimensión 3: El componente socio-afectivo que interviene naturalmente en el acto de la comunicación resulta de vital importancia en el acto educativo y el aprendizaje.

En esta investigación, el discurso

iii) Desde el aprendizaje significativo, el aprendizaje conceptual requiere que el aprendiz establezca conexiones entre sus significados y los nuevos a aprender, lo cual implica que la asociación no sea arbitraria, literal, mecánica, carente de significados representativos y aplicativos. Además, es necesario que exista una disposición manifiesta del estudiante a participar en su propio proceso formativo, de manera consciente y reflexiva acerca de lo que está aprendiendo, cómo aprender y para qué lo está haciendo.

Adicionalmente, Moreira (2005) plantea que los significados construidos desde la educación científica, puedan ser reelaborados por las personas de manera crítica, reflexiva, participante, no dogmática, a fin de ser capaz de tomar decisiones adecuadas para enfrentar el mundo cotidiano y complejo en el cual vive. Para este autor, a través aprendizaje significativo y crítico, ASC, el estudiante podrá formar parte de su cultura y no ser subyugado por ella, por sus ritos, mitos e ideologías (ob. cit. p. 88).

Si el estudiante logra un ASC, podrá trabajar con la incertidumbre, la relatividad, la no causalidad, la probabilidad, la no dicotomía de las diferencias, con la idea de que el conocimiento es una construcción propia, dependiente de su desarrollo cognitivo; pero hay un conocimiento científico construido y aceptado, que ha asentado las bases del desarrollo social y tecnológico, que aprende de los errores, es dinámico, todo el tiempo se está haciendo preguntas, y cuyos procesos han sido exitosos, el cual tiene que integrar a su propio desarrollo.

Pero, ¿cómo podríamos promover este aprendizaje? Moreira (ob. cit.) plantea un conjunto de principios facilitadores del *aprendizaje significativo crítico*, (*Principio de interacción social y del cuestionamiento; Principio de la no centralización en el libro de texto; Aprendizaje como perceptor/representador crítico; Concientización semántica; Evitar la supersimplificación de los fenómenos físicos; Aprender de los errores; Desaprendizaje; Uso de metáforas y modelos análogos; Uso adecuado de la pizarra*). En este trabajo, tomamos como premisa que posiblemente estos o algunos de los principios serían útiles para integrarlas en las actividades didácticas de las tríadas, y para generar indicadores de aprendizaje significativo crítico.

B. Génesis del ensayo: estudio diagnóstico

El punto de partida corresponde a un estudio diagnóstico realizado con tres estudiantes (Buitrago y Andrés, 2021 en edición) en el contexto del curso de Mecánica Teórica y Aplicada, del Componente de Formación Profesional Específico, que se cursa en el cuarto semestre de la carrera para Profesores de Física del IPC-UPEL. Los objetivos fueron indagar acerca de: i) Los elementos del discurso que usa el estudiante al hablar en el contexto de *Situaciones Problematizadas Escolares de Física* (SPEF) presentadas, en atención a tres dimensiones (figura 1); y ii) identificar los conceptos que activan en la resolución de situaciones problemas escolares de física, escritas, para establecer el desarrollo conceptual alcanzado por el estudiante, visto desde la TCC.

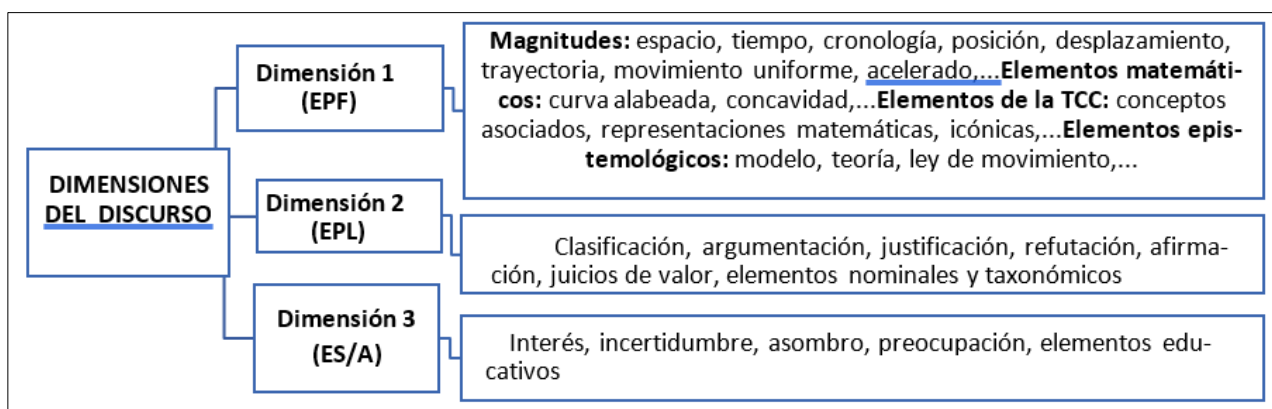


FIGURA 1. Dimensiones y elementos considerados para el análisis del discurso.

El análisis de los discursos grabados y transcritos, así como de las respuestas escritas a los problemas propuestos permitió encontrar que para las estudiantes del curso:

a) El discurso carecía de una estructura semántica que permitiera conocer el significado que le daban a las frases, por lo cual resultó difícil interpretar su asociación con la situación problema planteada.

b) Ante las situaciones planteadas, activaron algunos conceptos que resultaron ser deficientes para su resolución, y otros eran definiciones nominales u operatorias que no se correspondían, desde la perspectiva de la ciencia. Con respecto a las diversas representaciones de los conceptos, se observó ausencia del uso de expresiones simbólicas adecuadas, por lo que la operacionalidad asociada fue deficiente.

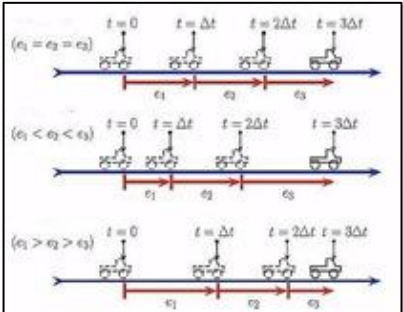
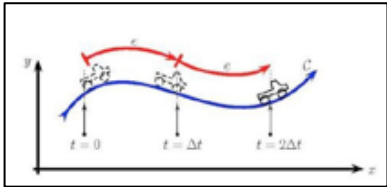
Desde la TCC, consideramos que las situaciones presentadas resultaron muy novedosas para las estudiantes; evidenciaron escasos elementos discursivos adecuados, al hablar sobre situaciones de física, y un bajo nivel de desarrollo conceptual de entrada, según lo establecido desde lo curricular para este curso. Estos resultados no fueron una sorpresa, en virtud de la historia de enseñanza previa de las estudiantes.

C. Propuesta de una estructura del discurso como orientación de la actividad didáctica

En atención al énfasis en las dimensiones del discurso, organizamos cada secuencia didáctica en tres momentos. En cada uno predominan elementos de una dimensión, aunque las tres están presentes. Los momentos son:

1. Introducción al evento físico y al lenguaje de la ciencia: el desarrollo de una *Situación Problematizada Escolar de Física*, SPEF, conectando el discurso con el lenguaje inicial de las estudiantes (Dimensión 1: EPF).
2. Énfasis en elementos de la Dimensión 2 (EPL) del discurso con nuevas SPEF de la misma clase.
3. Énfasis en elementos de la Dimensión 3 (ES/A) del discurso.

TABLA I. Campo Conceptual desde la disciplina, clases de situaciones para la enseñanza.

Situación	Conceptos principales/asociados	Reglas de operación asociadas conceptos	Representaciones
Clasifica y describe el movimiento de una partícula en una y dos dimensiones desde el punto de vista del espacio recorrido	Coordenadas: (x, y, z) ó (ρ, θ, z) , ó por medio del radio vector . Espacio Intervalo temporal: intervalo de tiempo, rapidez instantánea Movimiento: uniforme, acelerado, retardado	<i>Espacio</i> , la distancia que recorre una partícula a lo largo de su trayectoria en un intervalo de tiempo $I=(t_1,t_2)$. <i>Intervalo temporal</i> , a través de la longitud del intervalo I . <i>Movimiento uniforme</i> , la partícula recorre espacios iguales en diversos intervalos de tiempo de igual duración. <i>Movimiento acelerado (retardado)</i> : 1. Los espacios recorridos por una partícula aumentan (disminuyen) en diversos intervalos de tiempo de igual duración. 2. La partícula recorre espacios iguales durante intervalos de tiempo cada vez más cortos (largos).	<i>Simbólicas matemáticas</i> : Espacio: en un $I = (t_1,t_2)$, se mide a través de: $d_1 = \int_{t_1}^{t_2} \vec{v}(t) dt$, donde $\vec{v}(t)$ es la rapidez instantánea, en el intervalo temporal: $\Delta t = t_2 - t_1$ <i>Representación icónica</i> : Figura 1. Movimientos uniforme, acelerado y retardado, en función del espacio recorrido y el intervalo de tiempo, en una dimensión (a), en dos dimensiones (b).
			(a)  (b) 
Clasifica y describe el movimiento de una partícula lanzada horizontalmente bajo la influencia del campo gravitacional terrestre en términos de la velocidad y la aceleración instantáneas	Intervalo temporal: intervalo de tiempo, rapidez instantánea Velocidad: instantánea Aceleración: instantánea Movimiento: uniforme, acelerado, retardado	<i>Intervalo temporal</i> : a través de la longitud del intervalo I . <i>Aceleración instantánea</i> : a través de la derivada temporal de la velocidad instantánea. <i>Rapidez instantánea</i> : <i>Movimiento uniforme</i> , la aceleración es perpendicular a la velocidad en cada punto de la trayectoria. <i>Movimiento acelerado (retardado)</i> , la proyección de la aceleración sobre la velocidad es paralela (antiparalela) a ésta cuando la rapidez crece (decrece)	<i>Simbólicas matemáticas</i> : Intervalo temporal: $\Delta t = t_2 - t_1$ Aceleración instantánea: $\vec{a}(t) = \frac{d}{dt} \vec{v}(t)$ Movimiento uniforme: $\vec{a}(t)\vec{v}(t) = 0 \forall t \in I$ Movimiento acelerado: $\vec{a}(t)\vec{v}(t) > 0 \forall t \in I$ Movimiento retardado: $\vec{a}(t)\vec{v}(t) < 0 \forall t \in I$ <i>Representación icónica</i> :

Situación	Conceptos principales/asociados	Reglas de operación asociadas conceptos	Representaciones
		monótonamente con el tiempo.	

Las SPEF plantean una indisoluble relación entre la teoría y alguna actividad experimental, guiadas mediante la EMD (Buitrago y Andrés, en prensa), lo cual constituye la *triada*. Además, en el diseño específico de una secuencia didáctica se consideran los siguientes aspectos:

- i) Los resultados del diagnóstico cuyas conclusiones indicamos en la sección anterior.
- ii) Los contenidos del curso de Mecánica Teórica y Aplicada (MTA), secuenciados y problematizados desde la teoría de campos conceptuales (Verganud, 1990). En la tabla I se muestra la descripción de la cinemática clásica de la partícula, en una y dos dimensiones, y algunos criterios para la clasificación del movimiento.
- iii) Los principios para el aprendizaje significativo crítico (Moreira, 2005) ya descritos.
- iv) Las potencialidades didácticas de tres tipos de posibles actividades experimentales de la triada (tabla II).

TABLA II. Potencialidades didácticas de actividades experimentales validadas.

Tipo de Actividad -->	Demostraciones de cátedra	Simulaciones Computacionales	Data experimental
Potencialidad didáctica	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Involucrarse de manera directa con el fenómeno. ➤ Conectar las teorías subyacentes físicas con las situaciones físicas presentadas y la vida cotidiana. ➤ Promover y facilitar el desarrollo de explicaciones y discusión crítica 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Operar con el modelo y las relaciones implícitas a través de una variedad de fenómenos simulados. ➤ Interactuar con diversas representaciones del concepto través de los fenómenos simulados. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Establecer una conexión lógica entre las variables que componen la estructura del concepto y la situación física real presentada, descrita, explicada y sometida a operaciones

II. METODOLOGÍA

En este artículo presentamos el ensayo de la primera secuencia didáctica diseñada para iniciar el aprendizaje acerca de la cinemática de la partícula en dos dimensiones; realizado con una investigación-acción (IA), con estudiantes universitarios del curso MTA, componente de formación profesional específico, a nivel del cuarto semestre de la carrera para Profesores de Física del Pedagógico de Caracas, IPC-UPEL.

En este ciclo de la IA, implementamos la secuencia didáctica SPEF, planteada para la primera clase de situaciones del campo conceptual (tabla I). La tríada estaba conformada por: i) El marco teórico referido al movimiento de una partícula de masa finita $m > 0$ y extensión espacial nula, el cual describimos a partir de su posición, en términos de las coordenadas: (x, y, z) ó (ρ, θ, z) , ó por medio del radio vector $\vec{r}(t)$, Y, en términos de los coeficientes incrementales (derivadas de primer y segundo orden) de la posición-tiempo. ii) La simulación *Movimiento de un proyectil*, @2021 PhET Interactive Simulation, versión 1.0.15, formato HTML 5 (<https://phet.colorado.edu/es/simulation/projectile-motion>). iii) Los elementos discursivos específicos siguiendo la EMD propuesta.

La secuencia didáctica presentada en el anexo 1 fue implementada en la primera clase presencial, dos semanas después del diagnóstico, en un ambiente acondicionado con los recursos experimentales y de apoyo didáctico necesarios; tuvo una duración de 3 h. En la actividad participaron las tres estudiantes del curso. El docente-investigador llevaba el registro de las respuestas a las preguntas previstas en la secuencia didáctica y las discusiones en sus notas de campo. Dos de las estudiantes acordaron alternarse en el uso del pizarrón para la presentación; mientras una exponía en la pizarra sus respuestas las otras dos realizaban comentarios, refutaban, corregían, tomaban notas.

III. RESULTADOS

La información fue codificada de forma equivalente al diagnóstico, para establecer los cambios. En las tablas III y IV, presentamos los elementos conceptuales y del discurso por estudiante, respectivamente.

TABLA III. Los *elementos conceptuales* identificados en las respuestas y discusión según las preguntas de los tres momentos de la secuencia didáctica (anexo 1).

Estudiante -->	ILAOO1			NIC002			JAR003		
Pregunta	Cl _i J _i	R _j K _i	R' _l J _i	Cl _i J _i	R _j K _i	R' _l J _i	Cl _i J _i	R _j K _i	R' _l J _i
1	Cl _o J ₂	RK _m J ₂	NU	NU	NU	NU	Cl _o J ₂	RK _m J ₂	NU
2	Cl _o J ₂	RK _m J ₂	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU
3a	Cl _o J ₁	RK _m J ₁	NU	Cl _n J ₃	NU	NU	NU	NU	NU
3b	Cl _n J ₂	NU	NU	Cl _o J ₁	NU	NU	Cl _n J ₂	NU	NU
4a	Cl _n J ₂	NU	NU	Cl _o J ₂	NU	NU	NU	NU	NU
4b	Cl _n J ₂	NU	NU	NU	NU	NU	Cl _n J ₂	NU	NU
4c	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU	NU
5a	Cómicas, muy bonito y educativa la simulación, chévere, fácil, se ven los conceptos. Es bueno en la clase de bachillerato.			Sin respuesta			Sin respuesta		
5b	Sin respuesta			Sin respuesta			Sin respuesta		
5c	Se puede observar, no es abstracto.			Sin respuesta			Sin respuesta		
5d	Sin respuesta			Sin respuesta			Nunca había participado en este tipo de actividades, sólo se ha usado en los cursos el pizarrón.		
5e	Sin respuesta			Dan ganas de participar, pero no es fácil, pero se puede discutir, se aprende mejor, se siente una bien, hay libertad, es un clima bueno para aprender.			En todas las clases, si hay recursos lo uso en mis clases de bachillerato, pero si no hay internet es difícil		

Codificación: Conceptos (C) Representaciones (R) y Relaciones (R'). NU: No utiliza el elemento conceptual

I, definiciones: n: nominales; o: operacionales. K, tipo de representación: i: icónicas, g: gráfica, m: matemática.

L, tipo de relación: m: magnitud física, p: parámetro, mp: magnitud física y parámetro.

J, criterio de formalidad: 1, predominio de lo científico, 2, uso parcial de lo científico, 3, no emplea elementos científicos

TABLA IV. Los *elementos discursivos*, según las tres dimensiones (Figura 1), identificados según las preguntas de los tres momentos de la secuencia didáctica (anexo 1).

Estudiante -->	ILAOO1	NIC002	JAR003
Pregunta	Elementos del discurso	Elementos del discurso	Elementos del discurso
1	EPF: Posición, tiempo, distancia, coordenadas cartesianas (magnitudes y elementos matemáticos)	EPL: Correcto (juicio de valor)	EPF: Posición, distancia, coordenadas cartesianas (magnitudes y elementos matemáticos)
2	EPF: Posición, tiempo, coordenadas polares (magnitudes y elementos matemáticos)	EPL: Correcto (juicio de valor)	EPL: Correcto (juicio de valor)
3	EPF: Cronología, posición (magnitudes) EPL: Cambio de lugar (elemento taxonómico que usa como sinónimo de posición)	EPF: Tiempo, posición, variación de la posición, desplazamiento (magnitudes)	EPF: Cronología, posición (elementos epistemológicos, magnitudes) EPL: Cambio de posición (elemento de orden nominal pues relaciona la cualidad del cambio con la cronología)
4	EPF: Trayectoria, parábola (elementos matemáticos)	EPF: Alabeada, curva (elementos matemáticos)	EPF: Cóncava (elementos matemáticos) ES/A: No me la dieron (elemento que muestra necesidad)

Estudiante -->	ILAO01	NIC002	JAR003
Pregunta	Elementos del discurso	Elementos del discurso	Elementos del discurso
5	ES/A: <i>Cómodo, bonito, educativo, es bueno, abstracto, la clase de bachillerato (necesidad, interés, preocupación por la educación)</i>	EPL: Discusión (postura ante la situación de la actividad y en general de la clase) ES/A: Ganas, participación, facilidad, se siente bien, libertad, clima bueno, se aprende (necesidad, interés, preocupación)	ES/A: Todo el escrito muestra elementos relacionados con el interés y la necesidad de uso

Codificación: EPF, elementos referidos a la Física; EPL elementos referidos a la lingüística; EPS/A: elementos referidos a lo social-afectivo.

Para ILAO01, en la pregunta 1 y 2, activa varias definiciones nominales (Cl_n) y representaciones matemáticas (RK_m) que coinciden parcialmente con lo científico (J_2), lo cual es una mejora con respecto al resultado del diagnóstico. Se observa ausencia de representaciones pictóricas y gráficas. Con respecto a los elementos del discurso activados, hay una tendencia hacia la dimensión 1, EPF, en particular relacionados con las magnitudes y objetos matemáticos, los cuales guardan una relación aproximada con la situación; se puede ver que los conceptos cobraron significado científico pertinente a la situación. En las preguntas 3 y 4, la tendencia a la utilización de conceptos operacionales (Cl_o) es demarcada, prevaleciendo lo científico (J_1); así como las representaciones matemáticas (K_m), lo cual mejora con respecto al diagnóstico. De nuevo hay ausencia de representaciones pictóricas y gráficas ($K_i - K_g$). Se observa la aparición de un elemento de orden taxonómico¹ perteneciente a la dimensión EPL. En la pregunta 5, los elementos de la dimensión ES/A, tienden hacia el interés y la necesidad de usar lo aprendido y vivenciado en la actividad en su praxis educativa, (la estudiante trabaja en un centro de educación secundaria como docente de física).

Las respuestas de NIC002 y JAR003 evidenciaron mas ausencias de elementos conceptuales (NU) ante las preguntas de los tres momentos que ILAO01. Sin embargo, durante la presentación en la pizarra y la discusión, hicieron preguntas y comentarios que parecen dar cuenta del interés por aprender, como: "Dan ganas de participar, pero no es fácil, pero se puede discutir, se aprende mejor, se siente una bien, hay libertad, es un clima bueno para aprender", "Claro, varia la posición, se desplaza", "Ahora entiendo lo de la cronología, pues al ver cambiar la posición ya lo veo, pues el tiempo es distinto para cada una", "Eso significa que es cóncava hacia arriba".

IV. CONCLUSIONES

En este trabajo nos planteamos dos cuestiones: 1. ¿Cómo progresa el discurso de los estudiantes y su desarrollo conceptual con la organización de la secuencia de actividades didácticas centradas en la triada? y 2. ¿En qué medida la EMD permite orientar el desarrollo de la enseñanza no tradicional dirigida al aprendizaje de los tópicos de Física organizados como un campo conceptual?

1. Desde la TCC, la SPEF presentada parece que resultó ser innovadora en diferente grado para cada estudiante; mientras una logró identificar la meta y efectuar algunas anticipaciones de tipo conceptual nominal u operativo para resolver la situación, e incorporar nuevos elementos en su solución, las otras dos mostraron más dificultades para resolverla. Esta circunstancia pudiera explicar el hecho de que dos de ellas evitaron presentar sus resultados en la pizarra, aunque participaron de manera activa y valoraron la discusión, como lo evidencia expresión: "*Nunca había participado en este tipo de actividades, sólo se ha usado en los cursos el pizarrón*" (JAR003, pregunta 5d) ó "*Dan ganas de participar, pero no es fácil, pero se puede discutir, se aprende mejor, se siente una bien, hay libertad, es un clima bueno para aprender*" (NIC 002, pregunta 5e). Por ello, asumimos que un uso adecuado del pizarrón puede promover confianza y aprendizaje.

Las representaciones y relaciones asociadas a los conceptos estuvieron ausentes en sus discursos, lo cual puede asociarse con un aprendizaje previo nominal con poco significado. Pareciera que la Triada y la EMD favorecen la actividad cognitiva y la confianza para debatir, lo cual es relevante para el aprendizaje conceptual.

Los discursos, en comparación con el nivel inicial derivado del diagnóstico, resultaron un poco mas estructurados con elementos de los tres dominios dimensionales. En la dimensión referida al lenguaje de la física, surgieron elementos relacionados con magnitudes físicas y matemáticos, cuya ausencia fue notable en el diagnóstico.

Con respecto a la dimensión socio/afectiva, destacamos que las estudiantes vislumbraron la posibilidad de que este enfoque didáctico pudiera llevarse a su praxis educativa: "*... es bueno en la clase de bachillerato*" (ILAO01), "*En todas las clases, si hay recursos lo uso en mis clases de bachillerato*" (JAR003); algo relevante para el tipo de profesional que se está formando.

¹ Relaciones Taxonómicas: son las que relacionan a un ítem con otro que se está presentado como sinónimo, antónimo, homónimo (entre otros).

En líneas generales, a medida que se avanzaba en la actividad de la triada, intencionalmente orientada mediante una EMD, las estudiantes lograron interactuar y "hablar" con más elementos conceptuales y discursivos pertinentes ante la situación. Lo cual nos hace pensar que implementar una secuencia de SPEF progresivamente más complejas puede lograr avances en el desarrollo conceptual y discursivo de los estudiantes, en relación a la física.

2. Con los resultados obtenidos, tenemos una primera evidencia de factibilidad y efectividad en cuanto al uso de la EMD como guía para el diseño de SPEF que incorporan la triada. Además, pensamos que el desarrollo con este enfoque, de una serie de *Secuencias Didácticas con Situaciones Problematizas de Física* que atiendan *clases de situaciones* preestablecidas, promoverían con éxito el *aprendizaje significativo crítico de la Física*.

REFERENCIAS

Buitrago, C. y Andrés, M., (2021) Discurso y desarrollo conceptual de los estudiantes para el profesorado de Física. *Revista de Investigación*. Universidad Pedagógica Experimental Libertador-IPC, Venezuela. (En edición).

Buitrago, C. (2012) *Complementariedad de los medios didácticos para el dominio teórico de la física* (Trabajo de Maestría) Universidad Pedagógica Experimental Libertador.

Lemke, J. (1993) *Talking Science language, learning and values*. NJ: Ablex.

Moreira, M. (2005) Aprendizaje significativo crítico (Critical meaningful learning) Indivisa. *Boletín de Estudios e Investigación*, 6, 83-102, La Salle Centro Universitario España.

Perelman, Ch, y Olbrechts-Tyteca, L, (1989). *Tratado de argumentación. La nueva retórica*. Madrid: Gredos

Verngnaud, J. (1990). Quelques problèmes théoriques de la didactique à propos d' un Exemple : los structures additives. *Atelier International d'été. Recherches en didactique de la physique*. La Londe des Maures, Francia 26 junio al 13 de julio de 1983. Disponible en: <https://www.if.ufrgs.br/~moreira/vergnaudespanhol.pdf>

ANEXO 1.

Secuencia Didáctica para el estudio de la cinemática de la partícula en dos dimensiones, según EMD (Buitrago y Andrés, en prensa).

Primer momento

Recurso usado: Simulación @2021 [PhET Interactive Simulation](#), versión 1.0.15, formato HTML 5

Descripción general de la simulación: Aprender a apreciar un cañón que dispara balas a diferentes valores de rapidez inicial y ángulos; la imagen se puede detener permitiendo al estudiante analizar cada punto de la trayectoria, el cual corresponde a un estado de movimiento de la partícula descrito por la posición y el tiempo.

Tiempo de la actividad: 3 horas académicas.

1. *Potencialidades didácticas experimentales dependiendo del recurso usado.* Operar con el modelo y las relaciones implícitas a través de una variedad de fenómenos simulados: vamos a describir la trayectoria de una partícula disparada en el campo gravitacional terrestre. Para hacer esto usaremos una simulación computacional, la cual, representa virtual y aproximadamente, la trayectoria que describe una partícula que ha sido disparada con una velocidad inicial y un ángulo de disparo. Según el modelo, sin hacer simplificaciones exageradas del mismo, con el fin de aproximarnos lo más posible al fenómeno real, estableceremos las siguientes condiciones para nuestro estudio:

- Consideraremos como partícula la bala, dada su simetría esférica.
- Estableceremos al campo de fuerza terrestre aproximadamente constante.
- Limitaremos nuestro estudio al vuelo de proyectiles próximos a la superficie terrestre.
- Para asegurarnos que b) está correctamente considerado, agregaremos que la altura h difiera del campo sobre la superficie terrestre ($r = R$) en menos que cierta fracción que llamaremos ϵ , así para la máxima altura consideraremos la corrección: $h \leq R\epsilon$.
- Prescindimos de la interacción con la resistencia del aire.

Haremos un primer estudio para tratar de establecer alguna relación entre las magnitudes: velocidad inicial, ángulo de disparo, trayectoria. Haciendo uso del sistema de medición del software, obtenga el vector posición para un estado de movimiento de la partícula (bala de cañón) en coordenadas polares. Incluya los vectores unitarios.

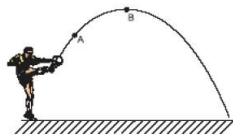
Disparo 1: ángulo fijo, variamos la velocidad tres veces, observamos la trayectoria.

Disparo 2: velocidad fija, variamos el ángulo tres veces, observamos la trayectoria.

Preguntas guías en el pizarrón (uso adecuado de la pizarra):

- Haciendo uso del sistema de medición del software obtenga el vector posición para dos estados de movimiento de la partícula (bala de cañón) en coordenadas cartesianas.
- Interactuar con las diversas representaciones del concepto a través de los fenómenos simulados y recreados con el fin de reforzar el conocimiento: Vamos ahora a tratar de establecer una relación entre las variables, a través de las siguientes representaciones colocadas en la pizarra:

Representación 1:



Representación 2

$$(1) \quad x^2 = -\frac{2v^2}{g} \cos^2 \alpha \frac{z}{g}$$

En la primera situación, se observa un modelo simplificado del movimiento realizado por una pelota que es pateada por un jugador de fútbol. Si dibujamos vectores posición del origen hasta A y B, estableciendo una cronología que nos permita asignar un valor de tiempo a cada uno, al igual que en la simulación, podemos conocer la posición de la partícula en el tiempo. Realicen otro disparo con el simulador, para un ángulo y rapidez inicial que ustedes deseen.

Pregunta guía en el pizarrón (uso adecuado de la pizarra):

- Para distintas posiciones asigne la cronología correspondiente.
- ¿Se encuentra la partícula en movimiento? ¿Cómo justifica su aseveración?

En esta situación, podemos apreciar una expresión matemática. Con ella vamos a realizar un gráfico de x como una función de z , incorporando a la función que vamos a graficar, los mismos valores de los datos cargados a la simulación: rapidez inicial, ángulo y valor de la aceleración de gravedad terrestre. Para esta tarea vamos a usar un graficador de funciones. Fijense que el resultado es una curva muy similar a la que obtuvimos en la simulación. Cuyo punto máximo se corresponde con el punto en donde la curva alabeada sufre una inflexión. Para relacionar lo que obtuvimos en la graficación con la simulación, hagamos otro disparo para un ángulo y rapidez inicial conocida. A partir de los observado en la simulación y haciendo una analogía (uso de analogías) con la gráfica obtenida de la expresión matemática, respondan las siguientes interrogantes.

Preguntas guía en el pizarrón (uso adecuado de la pizarra):

- En la simulación: ¿en dónde se representa la curva alabeada?
- ¿Qué trayectoria sigue la partícula? ¿Cómo piensa que se podría formalizar esta respuesta sin ambigüedad?
- ¿Hace falta esta formalización? ¿La expresión representa una formalización del movimiento de la partícula?

2. *Hacer énfasis en los elementos del discurso y conceptos que no aparecen en el diagnóstico:* hagamos dos nuevos disparos. Como podrán observar, la trayectoria de la bala no cambia, pues la única influencia que existe, es la que ejerce el campo gravitacional terrestre, por supuesto, consideradas las condiciones en los valores de las magnitudes cargadas en la simulación. Para aclarar un poco la actividad y el rol de la simulación en la misma, es importante mencionar que, una simulación computacional no es un experimento real, y en particular la que usamos está construida bajo para obedecer a un modelo físico, el cual dicta a través de líneas de códigos, los pasos que el software realizará para activar el algoritmo de resolución. Luego de cargar las condiciones iniciales, los parámetros y variables de estado o magnitudes físicas involucradas y activar las soluciones, el sistema ejecuta el algoritmo

y reporta visualmente la corrida de la simulación, por lo cual se establece una relación entre las magnitudes posición, velocidad, ángulo de disparo y aceleración de gravedad dada por el modelo matemático de la trayectoria cargado en el software. Este modelo se puede representar a través de la expresión 1.

Esta ejecución de códigos de mando, tiene como resultado la representación virtual de la trayectoria. Experimentalmente, se puede comprobar que este modelo simulado es consistente con las observaciones reales, bajo las mismas condiciones consideradas en la simulación. Si analizamos con detenimiento la expresión anterior, vemos que guarda una relación cuadrática entre las coordenadas de la posición de la bala en el plano $z - x$. Para asegurarnos que esta consistencia es verdadera, les invito como tarea para la casa, a graficar esta función con los valores de velocidad y ángulo del disparo 1. Luego de obtenida la gráfica, contrasten la forma de la trayectoria obtenida en la simulación con la de la gráfica. También, con el simulador pueden medir la distancia entre el punto inicial y final de la trayectoria y obtener así el alcance máximo del proyectil.

3. Elementos de la TCC: fíjense que para abordar el problema planteado tuvimos que recurrir a varias representaciones del concepto de trayectoria, y a otros conceptos asociados como: curva alabeada, ángulo de disparo, punto máximo. Como conclusión: ¿Se podría decir que para resolver un problema ameritamos de varios conceptos, situaciones y representaciones?

Segundo momento

1. *Reforzar los elementos del discurso y conceptos que no aparecen en el diagnóstico, a través, de actividades de resolución de problemas:* vamos a tomar algún problema planteado en el libro de texto, con el fin de resolverlo. **Problema del libro:** Un cañón dispara dos proyectiles en el plano $z - x$, cada uno con una rapidez inicial de 30 m/s . El primer proyectil con un ángulo de elevación de 30° y un tiempo $3s$ más tarde. El segundo con un ángulo de elevación de 17° . **Cuestionamiento a la solución del libro:** ¿La solución del libro plantea que la trayectoria descrita por el primer proyectil posee un alcance máximo que es menor a la del segundo, es decir, el segundo llega primero al suelo? **Incertidumbre:** ¿Chocaran los proyectiles en algún momento? Hipótesis: si no se conoce el tiempo de diferencia entre un disparo y otro, no se puede resolver el problema ¿Es cierto esto? **Uso de la pizarra/simulación:** al resolver el problema en el caso de conocer el tiempo entre un disparo y otro, podemos ver que es el mismo que el obtenido en la simulación. En el segundo caso, vimos que analíticamente, el problema no tiene solución cuando no conocemos el tiempo. Sin embargo, la simulación nos permitió conocer ese valor.

2. *Hacer énfasis en la TCC. Modelos análogos:* dejar para que investiguen acerca de esta situación, la cual discutiremos en la próxima sesión presencial. *Situación planteada:* Ahora se dispara un electrón en un campo eléctrico constante, deseamos conocer la trayectoria que describe, ¿es similar esta situación a la de proyectiles disparados por el cañón? ¿Servirá la simulación para describir la trayectoria del electrón? ¿Servirá la expresión 1 para graficarla? ¿cuál sería la adecuada?

Hacer notar que la simulación y la expresión no sirven para obtener la trayectoria del electrón, porque no incluyen todas las magnitudes físicas que representan la situación. A pesar de que la velocidad, la posición y el ángulo de disparo son comunes, el electrón interactúa con el campo eléctrico y no con el gravitatorio. Pero, haciendo ese cambio particular y algunos arreglos matemáticos, las estructuras de los modelos son análogas, y describirían con una buena aproximación la trayectoria del electrón.

Tercer momento

1. *Reforzar los elementos del discurso y conceptos.* Responder en su rol como estudiantes. Luego como docentes en servicio y/o formación: 5a. Cómo se sintieron durante el desarrollo de la sesión. -- 5b. Qué les pareció la estrategia seguida (discurso/teoría/simulación). -- 5c. Qué utilidad prestó la simulación en la sesión. -- 5d. Cómo la usarían en su praxis educativa. -- 5e. Otros comentarios que quieran agregar desde el punto de vista socio-afectivo.

2. *Principio del ASC:* "es importante que, en su presente o futuro rol como docentes, adquieran conciencia de que los significados de sus estudiantes son construcciones humanas que la mayoría de veces no están en el lenguaje de las ciencias, pues ese lenguaje no es cotidiano. En el proceso de aprender ciencias, sus estudiantes experimentan una circulación continua de significados que vienen tanto del que aprende (saberes previos) como desde el entorno (docente, medios, recursos de aprendizaje, programas televisivos, entre otros), por lo que resulta importante reconocer los primeros y mediar en la negociación entre significados. Esto se cree factible de lograr mediante estrategias educativas que incorporen actividades como la que acabamos de desarrollar. Es posible que, si el que aprende percibe los significados externos y los relaciona en forma no literal con los propios, consciente de la diversidad y del cambio en los significados, podríamos estar ante un aprendizaje significativo crítico".