

Registros semióticos en contextos argumentativos para la comprensión de trabajo mecánico

Semiotic registers in argumentative contexts for the understanding of mechanical work

Edwin Mosquera Lozano^{1*}, Ignacio J. Idoyaga² y Germán Londoño Villamil³

¹ Facultad de Educación, Doctorando en didáctica, Universidad Tecnológica de Pereira, Colombia.

² Universidad de Buenos Aires, Facultad de Farmacia y Bioquímica, Centro de Investigación y Apoyo a la Educación Científica. CONICET.

³ Programa de Doctorado en Didácticas Específicas, Escuela de Doctorados, Universitat de Valencia. España.

*E-mail: yuyu@utp.edu.co

Recibido el 30 de septiembre de 2022 | Aceptado el 24 de octubre de 2022

Resumen

La didáctica de la física enfrenta el reto de cumplir con las exigencias de los objetivos del desarrollo sostenible a causa de las actitudes y emociones negativas que muchos estudiantes experimentan en los procesos de aprendizaje. Por lo tanto, se muestra el estudio de una alternativa semiótica en contexto argumentativo que brinda la posibilidad de analizar los cambios en los niveles de comprensión sobre trabajo mecánico en estudiantes de la escuela media. Según los resultados, la alternativa que se propone cumple con la mirada de Duval porque utiliza los registros semióticos para analizar los efectos de los procesos de aprendizaje y no como causas de la falta de comprensión.

Palabras clave: Argumentación; Registros semióticos; Trabajo mecánico.

Abstract

Physics didactics faces the challenge of meeting the demands of the sustainable development goals due to the negative attitudes and emotions that many students experience in the learning process. Therefore, the study of a semiotic alternative is shown in an argumentative context that offers the possibility of analyzing the changes in the levels of understanding about mechanical work in average students (15 to 16 years old). According to the results, the proposed alternative complies with Duval's point of view because it uses semiotic registers to analyze the effects of learning processes and not as causes of lack of understanding.

Keywords: Argumentation; Semiotic registers; Mechanical work.

I. INTRODUCCIÓN

Este documento se enmarca en un proceso en didáctica de la física que investiga las interacciones entre la perspectiva de los registros semióticos y los contextos argumentativos y sus posibles efectos en el aprendizaje de la energía mecánica en estudiantes de la escuela media. En esta ocasión se presentan algunos avances en el análisis de la comprensión de trabajo mecánico.

Los principios históricos y filosóficos parten del entendimiento del aprendizaje como un proceso complejo que requiere soluciones no lineales que consideran múltiples variables en términos de Estrada G (2020).

Desde el punto de vista histórico, FAO (The Food and Agriculture) (2019), sostiene que el tema de la energía es importante para cumplir los objetivos del desarrollo sostenible, por lo tanto, los conceptos de trabajo mecánico que hacen parte de este cobran trascendencia en la didáctica de la física.

Sin embargo, la escuela enfrenta el reto de mejorar las actitudes y emociones negativas que experimentan muchos estudiantes en los procesos de aprendizaje de las ciencias naturales y además, lograr incrementar la demanda por carreras afines (Solbes et ál., 2007; Londoño *et al.*, 2009; León & Londoño, 2013).

Desde el punto de vista filosófico, este documento se fundamenta en los aportes de las perspectivas dimensionales y multidimensionales que contemplan aspectos cognitivos y metacognitivos desde el análisis epistemológico de los contenidos y sus posibilidades de aprendizaje en distintos contextos (Tamayo, 2001; Castiblanco A. y Nardi, 2018).

Por lo tanto, se parte de las explicaciones y argumentos sobre las posibilidades y obstáculos que tiene la teoría de los registros de representación semiótica de Duval (TRRS) como una alternativa desde las matemáticas para el aprendizaje de la física.

En primer lugar, la TRRS brinda la posibilidad de mejorar los procesos de transferencia de los conocimientos matemáticos en el aprendizaje de la física a partir de tres operaciones sobre las representaciones externas (RE) que son: la formación, la conversión y el tratamiento. Cuando una RE se ajusta a estas tres operaciones se convierte en un registro semiótico (RS) (Duval & Sáenz-Ludlow, 2016) y (Duval, 2017).

La TRRS considera las interacciones entre semiosis y noesis (representaciones externas e internas/pensamientos). En esta teoría los registros semióticos pueden ser lingüísticos y no lingüísticos que a su vez se subdividen en polifuncionales y monofuncionales. Cuando un registro semiótico cumple funciones dentro y fuera de las matemáticas se denomina polifuncional. Por ejemplo, el lenguaje natural se considera polifuncional verbal, mientras que una figura geométrica se considera polifuncional pero no verbal. Por su parte, las expresiones algebraicas se consideran monofuncionales y verbales mientras que un plano cartesiano es monofuncional no verbal.

Con relación a las categorías monofuncionales puede existir una discusión porque tanto las expresiones algebraicas como los planos cartesianos desempeñan funciones importantes en áreas del conocimiento distinta a las matemáticas.

Una clasificación que puede esclarecer esta discusión es cuando se agrupan los registros en configuraciones triádicas como referenciales (registros icónicos, imágenes fotos próximas a la realidad), vehiculares (expresiones simbólicas, modelos matemáticos, unidades de medida, diagramas y gráficas) y de sentido (registros verbales) (Lozano *et al.*, 2021).

Asimismo, conviene mencionar algunas investigaciones en la didáctica de la física que se sustentan en la TRRS. Según los resultados de las investigaciones de Martínez (2014); Sparvoli (2015); de Lima (2019) y Farabello & Trigueros (2020), los estudiantes encuentran sentido a las matemáticas en las clases de física cuando realizan procesos de coordinación de RS, sin embargo, algunos recomiendan complementar esta estrategia con otras herramientas.

Una de las discusiones sobre TRRS en matemáticas consiste en la paradoja cognitiva del aprendizaje. Según esta, la actividad matemática es conceptual y los estudiantes tienden a confundir los objetos matemáticos con sus representaciones (Duval, 2012, 2017), sin embargo, en física se tiene un objeto o fenómeno como referente lo cual es una oportunidad para evitar esta paradoja.

Por otra parte, existen limitaciones para usar RS en algunas temáticas. Por ejemplo, Mora (2019), destaca la discontinuidad que encuentran algunos investigadores con el modelado de la ley de ohm. Esto sucede, probablemente, porque esta ley contempla tres variables en el análisis de un circuito eléctrico que son: el voltaje, la corriente y la resistencia ($V=I.R$). Si se desea hacer un análisis de la corriente en función de la resistencia ($I=V/R$) se tiene una relación inversa entre estas variables. Desde el punto de vista matemático, la gráfica resulta asíntota para $R=0$, lo que en la realidad puede significar un problema de corto circuito.

Aunque algunos investigadores como Callone & Torres (2013), manifiestan su preocupación por la efectividad del uso de los RS en los procesos de aprendizaje de la física, es claro que Duval (2006) explica un sentido de uso. Parafraseando a el autor se puede afirmar que el desarrollo de habilidades para coordinar registros semióticos es una consecuencia de la comprensión conceptual y no una causa en todos los casos, por lo tanto, se tiene claro que un estudiante puede mostrar habilidades para coordinar RS y sin embargo carecer del concepto.

Por otra parte, se plantea que el concepto de trabajo mecánico hace parte de la comprensión de uno de los procesos de transferencia de energía entre dos sistemas. Según Jewett (2008b), en un sistema existen tres tipos de energías que son: potencial, cinética e interna y seis procesos de transferencia entre los dos sistemas o entre el sistema y el medio ambiente que son: calor, trabajo, materia, radiación, ondas y electricidad.

Mientras que los tipos de energía sufren procesos de transformación o degradación, los procesos de transferencia modifican los estados de las formas de energía de un sistema.

Por su parte, el concepto de trabajo mecánico se define como la acción que ejerce una fuerza sobre un cuerpo a través de una trayectoria o recorrido y se expresa matemáticamente como: $W = F \cdot \Delta r = F \cdot \Delta r \cdot \cos \theta$, donde F representa la fuerza aplicada, Δr es el vector de desplazamiento, Δr es la magnitud de este vector y θ es el ángulo entre la fuerza y el vector desplazamiento Jewett (2008a).

Dado que $\cos 0 = 1$ y $\cos 90 = 0$, se tienen dos situaciones en las cuales el trabajo mecánico es mayor que cero porque la fuerza y el vector desplazamiento forman un ángulo de 0° ($\rightarrow \rightarrow$), o igual a cero cuando el ángulo es igual a 90° ($\rightarrow \uparrow$).

Con respecto a la argumentación, se dice que es un concepto complejo. De acuerdo con Parra & Ávila (2018), muchos estudiantes muestran falencias en los procesos argumentativos que incorporan registros semióticos en el análisis de caída libre de los cuerpos.

Según Erduran, Ozdem, & Park (2015), los resultados de un análisis cualitativo y cuantitativo de artículos relacionados con argumentación entre los años 1998 y 2014 en tres revistas que son: *Science Education* (SE), *International Journal of Science Education* (IJSE) y *Journal of Research in Science Teaching* (JRST), revelan que esta categoría se asocia con el razonamiento informal, la práctica epistémica y el discurso. Mientras que en Europa ayuda en el desarrollo de competencias, en Estados Unidos apoya los contextos de la práctica científica. De igual forma, se relaciona con *aspectos lingüísticos* donde se destacan los términos: ‘discuss’ and ‘argumentation’, ‘discourse’ and ‘argumentation’, ‘discuss’, ‘discourse’, ‘conversation’ and ‘negotiation’, y, además, aspectos epistémicos como son: ‘claim’, ‘justify’, ‘evidence’ and general or wider epistemic practices such as ‘inquiry’ and ‘explanation’.

Por otra parte, un modelo para la formación en argumentación que propone Ruiz O *et al.* (2015), muestra que este debe considerar, entre otros: el papel de la argumentación en la construcción del conocimiento científico, el uso conceptual e intensivo del lenguaje en la clase de ciencia, la valoración del estudiante como sujeto cognoscente, social y contextual.

En síntesis, para trabajar la argumentación en el aula es importante tener en cuenta: que la argumentación se desarrolla dentro del lenguaje por lo tanto se debe prestar atención a los procesos orales y escritos de los estudiantes; es un acto comunicativo que tiene aspectos dialógicos, dialécticos y retóricos; además, es una actividad intencionada y puede ser del mundo de la vida de los estudiantes y/o problemas o cuestiones socio científicas (QSC); asimismo, se diferencia de la explicación y hace una diferencia entre persuadir y convencer. Adicionalmente, su fin o meta es la construcción de conocimiento y, también, es necesario tener en cuenta aspectos cognitivos, emocionales y afectivos para analizar sus beneficios, costos y riesgos, y al mismo tiempo, se analiza como habilidad (contexto real) o como competencia (entorno formativo).

Como resultado del análisis teórico anterior, se propone estudiar los cambios en la comprensión sobre trabajo mecánico por medio de una perspectiva semiótica con elementos argumentativos que permitan implementar un análisis cualitativo y cuantitativo y, además, sugerir estrategias para el aprendizaje en el aula.

II. METODOLOGÍA

Para comenzar, se parte de la propuesta de Angrayni & Ermawati (2019), a cerca del análisis de las concepciones erróneas en cuatro etapas sobre el concepto de trabajo mecánico, y se diseña el siguiente cuestionario (figura 1).

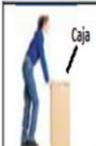
Completar			El trabajo realizado por la persona sobre el objeto es:	Seleccione un nivel de seguridad frente a la selección de la respuesta anterior:	Seleccione uno de los posibles argumentos para su respuesta: Porque...	Seleccione un nivel de seguridad frente al argumento seleccionado:	
Situación	Fuerza aplicada sobre el objeto	Dirección de desplazamiento del objeto					
S1				A. Mayor que cero B. Menor que cero C. Igual a cero D. Ninguna de las anteriores	4. Totalmente seguro 3. Seguro con algunas dudas 2. Inseguro con cierta confianza 1. Totalmente inseguro	A) Porque existe un esfuerzo personal B) Porque se aplica una fuerza C) Porque existe un desplazamiento del objeto D) Porque la dirección de la fuerza y el desplazamiento coinciden E) Porque la dirección de la fuerza y el desplazamiento NO coinciden F) Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 0° G) Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 90° H) Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 180°	4. Totalmente seguro 3. Seguro con algunas dudas 2. Inseguro con cierta confianza 1. Totalmente inseguro
S2				A. Mayor que cero B. Menor que cero C. Igual a cero D. Ninguna de las anteriores	4. Totalmente seguro 3. Seguro con algunas dudas 2. Inseguro con cierta confianza 1. Totalmente inseguro	A) Porque existe un esfuerzo personal B) Porque se aplica una fuerza C) Porque existe un desplazamiento del objeto D) Porque la dirección de la fuerza y el desplazamiento coinciden E) Porque la dirección de la fuerza y el desplazamiento NO coinciden F) Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 0° G) Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 90° H) Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 180°	4. Totalmente seguro 3. Seguro con algunas dudas 2. Inseguro con cierta confianza 1. Totalmente inseguro
S3				A. Mayor que cero B. Menor que cero C. Igual a cero D. Ninguna de las anteriores	4. Totalmente seguro 3. Seguro con algunas dudas 2. Inseguro con cierta confianza 1. Totalmente inseguro	A) Porque existe un esfuerzo personal B) Porque se aplica una fuerza C) Porque existe un desplazamiento del objeto D) Porque la dirección de la fuerza y el desplazamiento coinciden E) Porque la dirección de la fuerza y el desplazamiento NO coinciden F) Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 0° G) Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 90° H) Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 180°	4. Totalmente seguro 3. Seguro con algunas dudas 2. Inseguro con cierta confianza 1. Totalmente inseguro
S4				A. Mayor que cero B. Menor que cero C. Igual a cero D. Ninguna de las anteriores	4. Totalmente seguro 3. Seguro con algunas dudas 2. Inseguro con cierta confianza 1. Totalmente inseguro	A) Porque existe un esfuerzo personal B) Porque se aplica una fuerza C) Porque existe un desplazamiento del objeto D) Porque la dirección de la fuerza y el desplazamiento coinciden E) Porque la dirección de la fuerza y el desplazamiento NO coinciden F) Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 0° G) Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 90° H) Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 180°	4. Totalmente seguro 3. Seguro con algunas dudas 2. Inseguro con cierta confianza 1. Totalmente inseguro

FIGURA 1. Cuestionario para analizar las concepciones erróneas sobre trabajo mecánico en cuatro etapas.

El cuestionario tiene registros referenciales que mencionan los esquemas de una persona que aplica una fuerza sobre una caja para moverla o cargarla. Luego se observan registros vehiculares que representan los vectores de fuerza y desplazamiento y, después se muestra cada una de las etapas que contempla el contexto argumentativo de la siguiente forma: Etapa 1- El estudiante debe escoger una opción de selección múltiple frente a la pregunta ¿El trabajo realizado por la persona es?, Etapa 2- EL Estudiante debe seleccionar un nivel de seguridad frente a la respuesta que selecciona en la etapa 1, Etapa 3- El estudiante debe seleccionar una posible justificación frente a la selección que realiza en la etapa 1 y, Etapa 4 – El estudiante debe seleccionar un nivel de seguridad frente al posible argumento que selecciona en la etapa 3.

Este instrumento se somete a un proceso de validez interna y de contenido por 12 expertos y obtiene valores respectivos de 82% y 77% para una validez promedio total de 79.8%

De esta manera, este cuestionario se aplica antes y después de un proceso de instrucción para analizar las variaciones en los niveles de comprensión correcta C.C, comprensión parcial C.P, comprensión alternativa C.A y comprensión nula (C.N) sobre el trabajo mecánico.

Así pues, un nivel C.C se presenta cuando el estudiante selecciona la opción y el argumento correcto con niveles de seguridad de 3 o 4. Mientras que un nivel C.P ocurre cuando se selecciona solo la opción o el argumento correcto o se seleccionan ambos de manera correcta, pero con algún nivel de seguridad entre 1 y 2. Por otra parte, un nivel C.A se da cuando el estudiante selecciona tanto la opción como el argumento incorrecto con niveles de seguridad de 3 o 4. Según Anggrayni & Ermawati (2019), una C.A alternativa constituye la mayor preocupación porque pueden generar resistencias a los aprendizajes. Por su parte, un nivel C.N se presenta cuando el estudiante selecciona opciones y argumentos incorrectos con niveles de seguridad entre 1 y 2.

Las actividades de instrucción que se realizan después del cuestionario inicial son: 1- Explicación de ejercicios sobre trabajo neto para un cuerpo que se encuentra sobre una superficie horizontal y se le aplica una fuerza en un ángulo determinado y además, 2- Actividades de formación o alfabetización colectiva en el aula sobre registros semióticos sobre trabajo mecánico de acuerdo con los planteamientos de Mosquera & Londoño (2021) y, 3- Análisis de situaciones donde se puede estudiar el concepto de trabajo mecánico tales como: carrito movido por un globo, esfera que desciende desde un plano inclinado y Bicimáquina operada para moler granos.

El análisis de la información se realiza en la hoja de cálculo mediante el siguiente proceso: 1- Hoja donde se consignan las respuestas de cada estudiante (N1, N2, N3 y N4)= (Opción, Nivel de Seguridad frente a la opción que se selecciona, Argumento y Nivel de seguridad frente al argumento), 2- Se cambian las respuestas por símbolos y palabras (C: Correcta A, B, C, D; I: Incorrecta; Seg: Seguro 3 ó 4; Inseg: Inseguro 1 ó 2), 3- Se concatena cada grupo de respuesta y se compara con una matriz de referencia para determinar en cada caso si la comprensión es C.C, C.P, C.A o C.N.

El procesamiento de la información se realiza mediante la hoja de cálculo en cuatro etapas así: 1- Hoja donde se consignan los datos del cuestionario, 2- Hoja para determinar mediante una función condicional las respuestas correctas "C" e incorrectas "I" y también, los niveles de seguridad seguros "Seg" e inseguros "Inseg", 3- Uso de la función concatenar para formar las palabras del numeral 2 y determinar el nivel de comprensión (C.C, C.P, C.A (R), C.N) mediante la comparación con una matriz de referencia, 4- Tabular las frecuencias de los niveles de comprensión para cada estudiante y las opciones de justificación.

II. RESULTADOS Y DISCUSIONES

A continuación, se muestra la tabla de resultados del análisis de los niveles de comprensión sobre trabajo mecánico antes y después de los procesos de instrucción (tablas I, II y III). En este, cada situación se ilustra con la letra "S" con sus respectivos vectores de fuerza y desplazamiento del objeto.

TABLA I. Número de estudiantes por nivel de comprensión de trabajo mecánico antes y después del proceso de instrucción.

<i>Situaciones</i>	<i>Nivel de Aprendizaje (antes, después).</i>				<i>Total</i>
	<i>C.C</i>	<i>C.P</i>	<i>C.A (R)</i>	<i>C.N</i>	
S1 →→	(0, 1)	(26,24)	(5, 5)	(1,2)	(32, 32)
S2 ↑→	(0,2)	(4, 18)	(24,6)	(4,6)	(32, 32)
S3 ↑↑	(0,3)	(27,26)	(4, 1)	(1,2)	(32, 32)
S4 ↑→	(0,1)	(3,16)	(22,9)	(7,6)	(32, 32)

TABLA II. Justificaciones.

Justificaciones	Frecuencias	
	Antes	Después
Porque existe un esfuerzo personal	7	22
Porque se aplica una fuerza	36	24
Porque existe un desplazamiento del objeto	8	10
Porque la dirección de la fuerza y el desplazamiento coinciden	25	15
Porque la dirección de la fuerza y el desplazamiento NO coinciden	48	4
Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 0° (0° y 90°)	0	13
Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 90°	0	32
Porque la fuerza y el desplazamiento forman un ángulo de 180°	0	2

Nota: Se toman todas las respuestas de las cuatro situaciones que se analizan

TABLA III. Niveles de seguridad en las respuestas en cada situación antes y después de aplicar las estrategias.

Situaciones	Antes		Después	
	Seg	Inseg	Seg	Inseg
S1 $\rightarrow\rightarrow$	52	12	54	10
S2 $\uparrow\rightarrow$	58	6	46	18
S3 $\uparrow\uparrow$	50	14	45	19
S4 $\uparrow\rightarrow$	53	11	41	23

Según los resultados de la tabla I, la estrategia logra reducir significativamente los niveles de comprensión alternativos o resistentes a los aprendizajes y los moviliza hacia los niveles de comprensión parcial y correcto. Sin embargo, existe un número reducido de estudiantes que persisten en niveles de comprensión nula.

Asimismo, se observa que las situaciones 2 y 4 muestran los mayores niveles de cambios desde una comprensión alternativa o resistente hacia una comprensión parcial. Esto coincide con el aumento de las justificaciones donde los estudiantes hacen referencia a el ángulo entre los vectores fuerza y desplazamiento en la tabla II.

Al mismo tiempo, se puede notar que disminuye la justificación intuitiva "Porque la dirección de la fuerza y el desplazamiento NO coinciden", sin embargo, no se observa un aumento significativo específicamente en los niveles de comprensión correcta, probablemente, por el aumento en los niveles de inseguridad como se ve en la tabla III.

De acuerdo con lo anterior, se ratifica el uso de los RS como consecuencia de la conceptualización y, no siempre, al contrario. Según lo anterior, los estudiantes muestran un mayor acercamiento conceptual porque eligen justificaciones que se apoyan en el conocimiento científico desde el uso de registros simbólicos de fuerzas y desplazamientos, sin embargo, se desconocen cómo operan las representaciones mentales que inciden en sus niveles de seguridad (Duval, 2006; 2017; Duval & Sáenz-Ludlow, 2016).

IV. CONCLUSIONES

Según los objetivos que se plantean para este documento, mediante el uso de los RS con los contextos argumentativos que se muestran, se logra analizar los niveles de comprensión antes y después de la instrucción para transformarlos.

De esta manera, se propone esta herramienta en el sentido que muestra Duval, es decir, para analizar los niveles de comprensión y no solamente, como artefacto para promoverla.

Los registros semióticos con elementos argumentativos que se implementan permiten evaluar los niveles de apropiación conceptual sobre trabajo mecánico.

Los resultados evidencian que después de la instrucción las estudiantes eligen en mayor proporción opciones de argumentación que se relacionan con los conceptos matemáticos, sin embargo, se requieren instrucciones complementarias para mejorar los niveles de comprensión. De la misma manera, se observa un incremento en los niveles de seguridad.

En síntesis, esta herramienta de análisis de los niveles de comprensión resulta de un proceso que se inicia en el contexto de la escuela media en el año 2020. Durante los años 2021 y 2022 se realizan pruebas piloto y validación de su diseño, sin embargo, se propone realizar otros estudios que permitan evaluar la efectividad de la propuesta. Por ejemplo, realizar investigaciones de tipo experimental con varios grupos de control. También, se pueden realizar estudios no experimentales a partir de: 1- trabajos con registros semióticos existentes y, 2- producción de registros semióticos por parte de los estudiantes, a partir de distintas fuentes.

AGRADECIMIENTOS

Se agradece a Nelson Mosquera C. por su ayuda en los procesos de comunicación y la digitalización de algunos procesos y especialmente a los organizadores del 16.º *Simposio de investigación en educación en física*, por el evento.

REFERENCIAS

Anggrayni, S., & Ermawati, F. U. (2019). The validity of Four-Tier's misconception diagnostic test for Work and Energy concepts. *Journal of Physics: Conference Series*, 1171(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1171/1/012037>

Callone, C., & Torres, N. (2013). ¿ Por qué las representaciones semióticas pueden ser obstáculos para la comprensión ? Un estudio en el tema ácido-base. *Educación Química*, 24(3), 288–297. [https://doi.org/10.1016/S0187-893X\(13\)72478-9](https://doi.org/10.1016/S0187-893X(13)72478-9)

Castiblanco A., O. L., & Nardi, R. (2018). What and how to teach didactics of physics? An approach from disciplinary, sociocultural, and interactional dimensions. *Journal of Science Education*, 19(1), 100–117.

de Lima, L. G. (2019). The theory of registers of semiotic representation: Contributions to the teaching and learning of physics. *Investigacoes Em Ensino de Ciencias*, 24(3), 196–221. <https://doi.org/10.22600/1518-8795.ienci2019v24n3p196>

Duval, R. (2006). Un tema crucial en la educación matemática: La habilidad para cambiar el registro de representación. *La Gaceta de La Real Sociedad Matemática Española*, 9, 143–168. [http://cmapspublic.ihmc.us/rid=1JM80JJ72-G9RGZN-2CG/La habilidad para cambiar el registro de representaci?n.pdf](http://cmapspublic.ihmc.us/rid=1JM80JJ72-G9RGZN-2CG/La%20habilidad%20para%20cambiar%20el%20registro%20de%20representaci%3Fon.pdf)

Duval, R. (2012). Registros de representação semiótica e funcionamento cognitivo do pensamento: Traducción de Mércles Thadeu Moretti. *REVEMAT*, 7, 266–297. <https://doi.org/https://doi.org/10.5007/1981-1322.2012v7n2p266>

Duval, R. (2017). Understanding the mathematical way of thinking - The registers of semiotic representations. In *Understanding the Mathematical Way of Thinking - The Registers of Semiotic Representations*. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-56910-9>

Duval, R., & Sáenz-Ludlow, A. (2016). Un análisis cognitivo de problemas de comprensión en el aprendizaje de las matemáticas. In *Comprensión y aprendizaje en matemáticas : perspectivas semióticas seleccionadas* (Vol. 1, Issue 2, pp. 61–94). Universidad Distrital Francisco José de Caldas. <http://funes.uniandes.edu.co/12213/>

Erduran, S., Ozdem, Y., & Park, J. Y. (2015). Research trends on argumentation in science education: a journal content analysis from 1998–2014. *International Journal of STEM Education*, 2(1), 1–12. <https://doi.org/10.1186/s40594-015-0020-1>

Estrada G, A. (2020). Los principios de la complejidad y su aporte al proceso de enseñanza. *Ensaio: Avaliação e Políticas Públicas Em Educação*, 28(109), 1012–1032. <https://doi.org/10.1590/s0104-40362020002801893>

FAO. (2019). El apoyo de la FAO para alcanzar los Objetivos del Desarrollo Sostenible en América del Sur-Panorama. Panorama actual. *Organización de Las Naciones Unidas Para La Alimentación y La Agricultura*. <http://www.fao.org/3/ca3884es/ca3884es.pdf>

Farabello, S. P., & Trigueros, M. (2020). *La Transformación de Funciones en el Aula de Física*. 25–47. <http://union.fespm.es/index.php/UNION/article/view/82/23>

Jewett, J. W. (2008a). Energy and the Confused Student I: Work. *The Physics Teacher*, 46(1), 38–43. <https://doi.org/10.1119/1.2823999>

Jewett, J. W. (2008b). Energy and the Confused Student IV: A Global Approach to Energy. *The Physics Teacher*, 46(4), 210–217. <https://doi.org/10.1119/1.2895670>

- León, A. P., & Londoño, G. (2013). Las actitudes positivas hacia el aprendizaje de las ciencias y el cuidado del ambiente. *Amazonia Investiga*, 2(3), 109–129. <https://www.amazoniainvestiga.info/index.php/amazonia/article/view/653>
- Londoño, G., Solbes, J., & Guisasola, J. (2009). Aprovechamiento conceptual y actitudinal de las visitas a un parque temático. *Didáctica de Las Ciencias Experimentales y Sociales*, 92(23), 71–92. <https://doi.org/10.7203/dces..2407>
- Lozano, E. M., Villamil, G. L., & Idoyaga, I. J. (2021). Los registros semióticos triádicos en la comprensión de las gráficas cinemáticas Triadic semiotic records in understanding kinematic graphs. *Enseñanza de La Física*, 33(2021), 463–469.
- Martinez, A. (2014). *El uso de distintas representaciones del fenómeno aceleración promueve el cambio conceptual*. Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional.
- Mora, C. (2019). La Semiótica en la Enseñanza de la Física. *REAMEC-Rede Amazônica de Educação Em Ciências e Matemática*, 7(3), 126-134. <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/reamec/article/view/9278/pdf>
- Mosquera, E., & Londoño, G. (2021). Construcciones semióticas colectivas en el aula para el aprendizaje de la física : Un acercamiento cuantitativo Collective semiotic constructions in the classroom for the learning of physics. *Enseñanza de La Física*, 33(2), 387–396. <https://doi.org/https://doi.org/10.55767/2451.6007.v33.n2.35286>
- Mosquera L., E., Castiblanco, O., & Londoño, G. (2021). Perspectivas amplias con enfoques semióticos para la didáctica de la física. *REIDU/ Vol. 3/Nº2/ Antofagasta, Chile.*, 3(2), 189–216.
- Mosquera L, E., & Londoño V, G. (2021). Los Registros Semióticos Triádicos (RST) En Contextos Argumentativos Para La Comprensión De La Cinemática En Estudiantes De La Media (15 a 16 Años): Análisis De Casos Múltiples Triadic Semiotic Records (RST) In. *Miradas UTP*, 31–45. <https://doi.org/10.22517/25393812.24870>
- Parra, F. J., & Ávila, R. (2018). *Análisis didáctico de registros semióticos en el contexto de la cinemática*.
- Ruiz O, F. J., Tamayo, O. E., & Márquez, C. (2015). La argumentación en clase de ciencias, un modelo para su enseñanza. *Educação e Pesquisa*, 41(3), 629–646. <https://doi.org/10.1590/s1517-9702201507129480>
- Solbes, J., Montserrat, R., & Furió, C. (2007). Desinterés del alumnado hacia el aprendizaje de la ciencia. *Didáctica de Las Ciencias Experimentales y Sociales*, 21, 91–117. <https://doi.org/10.7203/dces..2428>
- Sparvoli, V. (2015). Representaciones multimodales en cursos de física básica. *Revista de Enseñanza de La Física*, 27(2), 269–278. <https://revistas.unc.edu.ar/index.php/revistaEF/article/view/12616/12892>
- Tamayo. (2001). *Evolución conceptual desde una Perspectiva Multidimensional. Aplicación al concepto de Respiración*. <https://www.tdx.cat/handle/10803/4688;jsessionid=6B2DADE46C4007C06D0ECB35C8E3844A>