

IX Taller Internacional sobre la Formación Universitaria de Profesionales de la Educación.

FORMALIZACIÓN MATEMÁTICA Y TRABAJO CON VARIABLES EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS EN FÍSICA.

MATHEMATICAL FORMALIZATION AND WORK WITH VARIABLES IN THE SOLVING OF PROBLEMS IN PHYSICS.

M. Sc. Arnaldo Morey Ramos. Profesor Auxiliar del Departamento de Física. Universidad de Matanzas. arnaldo.morey@umcc.cu

Dr. C. Maritza Petersson Roldan. Profesora Titular del Departamento de Matemática. Universidad de Matanzas. maritza.petersson@umcc.cu

Resumen

En el presente trabajo se realiza un análisis de las investigaciones en resolución de problemas en Física, en busca de modelos más eficientes para la descripción del proceso de resolución, destacándose los elementos que en ellos contribuyan de un lado, a la formalización matemática y al desarrollo de habilidades algebraicas, y del otro al incremento del nivel de desempeño de los estudiantes en esta actividad, lo que incluye la revisión de publicaciones y la valoración de lo que aportan para lograrlo, con el objetivo de ofrecer algunas recomendaciones avaladas por resultados obtenidos en la práctica.

Palabras clave: Formalización matemática, trabajo con variables y resolución de problemas en física.

Summary

In the present work an analysis of the investigations in problem solving in Physics is carried out, in search of more efficient models for the description of the solving process. Highlighting the elements that contribute on the one hand, to the mathematical formalization and the development of algebraic skills, and on the other to increasing the level of performance of students in this activity, which includes the review of publications and the assessment of what they contribute to achieve it, with the aim of offering some recommendations supported by results obtained in the practice.

Keywords: Mathematical formalization, work with variables and problem solving in physics.

Introducción

Se ha señalado por algunos investigadores en el área de la resolución de problemas en Física, que las dificultades de los estudiantes en la resolución de problemas no se hallan en el desarrollo matemático de los estudiantes, sino en el insuficiente dominio de representaciones y conceptos relativos a esta ciencia, sin embargo, dentro de los conocimientos operacionales y procedimentales que deben poseer los estudiantes para enfrentar con éxito esta actividad, se encuentran los relacionados con las manipulaciones de magnitudes mediante ecuaciones algebraicas, la solución de los sistemas de estas ecuaciones y la aplicación del cálculo, a partir de la formalización matemática o construcción de lo que pudiéramos denominar modelo matemático del problema y se ha observado que la mayoría de los estudiantes que ingresan a la universidad en carreras de ingeniería, no son capaces de transferir esos conocimientos para el logro de un mayor

desarrollo de las habilidades, que resultan imprescindibles para el exitoso desempeño en la resolución de problemas de física en la formación de ingenieros.

En relación con lo anterior Buteler y Coleoni (2012) plantean: “La formalización matemática de una situación física es, sin duda, un proceso fundamental del desarrollo de la física y por ello un objetivo ineludible para la enseñanza de la misma. Paradójicamente, a pesar de ser un objetivo (explícito o implícito) en casi todos los programas de estudio de física, es también uno de los logros más difíciles de alcanzar para los estudiantes. Es un saber muy valorado por los docentes de física, y a la vez es un proceso del cual conocemos muy poco cómo se aprende, y menos aún, cómo se enseña” (p. 435).

El presente trabajo tiene como objetivo presentar un grupo de elementos que, a juicio de los autores, contribuyen a la formalización matemática de los problemas de física, así como a desarrollar habilidades en el trabajo con variables, por la frecuente aparición en ellos de ecuaciones diferenciales y sistemas de ecuaciones lineales, poniéndose así de manifiesto, la necesaria relación interdisciplinaria entre ciencias factuales como la física y formales como la matemática.

Desarrollo

La investigación en resolución de problemas tiene una larga historia que, aunque no es interés de los autores relatar en este trabajo, algunos de sus aportes al tema serán mencionados, porque resultan imprescindibles para ubicar en contexto la investigación además de que le sirve de base para proponer soluciones.

El primer aporte es la identificación de las líneas de investigación que a lo largo de la historia se han ido desarrollando y que según Valera (2002) pueden resumirse en la clasificación realizada por Eylon y Linn (1988):

- 1- Trabajos que intentan descubrir modelos sobre cómo los individuos resuelven problemas. En este grupo está la línea de diferencia entre expertos y novatos, destacándose las características de ambos en relación a conocimientos y destrezas a la hora de plantear la resolución.
- 2- Trabajos que profundizan en el desarrollo de métodos que sean efectivos para aumentar la habilidad de los sujetos para la resolución de problemas. Se trata aquí de propuestas metodológicas sobre la propia resolución, como las relacionadas con el conocimiento y organización en dominios específicos de conocimientos o conocimiento en destrezas de procedimientos.

Trabajos que intentan descubrir cómo los individuos resuelven problemas.

Como resultados de la investigación en la línea de diferencias entre expertos y novatos, investigadoras como Buteler (2003) y Truyol (2012) han reconocido que la primera de estas estrategias, que consideran un caso particular de la estrategia medios/fines, es utilizada por los principiantes, mientras que la segunda es la empleada por los expertos. De ello se ha derivado, en primer lugar, un grupo de investigaciones que intentan describir la resolución de problemas como proceso de modelado, renunciando al uso de los llamados problemas determinados, para utilizar problemas indeterminados, que favorecen el proceso de la valoración cualitativa al inicio y la construcción de modelos como vía para resolverlos, intentando convertir con ello a los novatos en expertos.

Otro grupo de investigadores siguió la propuesta de la resolución de problemas como investigación de Gil Pérez (Aranzabal et al. (2011), Valera, (2002)) también renunciando al uso de problemas cerrados en favor de los problemas abiertos, intentando aproximar a los novatos al proceso de investigación seguido por los expertos.

Existen en la actualidad varios modelos no racionalistas acerca del pensar y de la resolución de problemas (De Vega, 1985), siendo ejemplo de ello la teoría de esquemas con representantes como Bartlett, Rumelhart y Norman y la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird, estos investigadores elaboraron sus concepciones como alternativas a partir de la no confirmación de la hipótesis de Piaget, acerca del desarrollo del pensamiento formal de todos los sujetos alrededor de los quince años de edad.

El hecho de que la mayoría de los humanos no desarrollen un pensamiento formal en el sentido destacado por Piaget, no conduce a descartar el de que existen sujetos que presentan un buen desarrollo del mismo y que este desarrollo favorece el éxito en la resolución de problemas.

La teoría de Pascual-Leone conocida como teoría de los operadores constructivos (Valera, 2014; Solaz-Portolés y Sanjosé, 2008) plantea que el razonamiento formal solo, no puede explicar el desempeño de los estudiantes y entre otros elementos, postula para el desarrollo cognitivo la existencia del factor de campo, relacionado con el estilo cognitivo dependencia/independencia de campo.

En nuestra opinión consideramos que los sujetos independientes de campo alcanzan un mayor nivel de desarrollo del razonamiento lógico y aunque utilicen modelos mentales en la resolución de problemas predomina el pensamiento analítico-sintético y aquellos que son dependientes de campo, utilizarán más los modelos mentales en el sentido que propone la teoría de Johnson-Laird.

Por otro lado, existen investigaciones en el campo de las neurociencias y particularmente en el de la neuropsicología del pensamiento (De La Barrera y Donolo, 2009; Ardila y Ostrosky-Solís, 2008; Cardamone, 2004), que muestran que tanto un cerebro en desarrollo como uno ya maduro se altera estructuralmente cuando ocurren los aprendizajes. En el cerebro hay una relación similar entre la cantidad de experiencia en un ambiente complejo y el monto de cambio estructural y que la tercera unidad funcional ejecutiva definida por Luria, la de programación, control y verificación de la actividad (considerada hoy metacognición), depende de la actividad de la corteza prefrontal, por lo tanto, encuentra allí su soporte cerebral y se consideran bajo el calificativo de funciones ejecutivas metacognitivas.

De este modo puede decirse que el desarrollo cognitivo no solo se explica por el hecho de que el aprendizaje produce cambios funcionales, sino también cambios estructurales lo cual se relaciona con el llamado de Rubinstein de reconocer que la enseñanza no debe reducirse a dotar a los estudiantes de recursos para pensar (dígase de estrategias cognitivas y metacognitivas), con lo cual estaba indicando que el desarrollo puede y debe lograrse produciendo ambos tipos de modificaciones.

Para Rubinstein (1966) el pensamiento como proceso es analítico-sintético, se basa en las operaciones de análisis, síntesis, abstracción y generalización, cuyo soporte está en los procesos anatómico-fisiológicos del cerebro, resultando necesaria su estimulación para lograr el desarrollo. Por esta razón propone desarrollar un tipo de enseñanza que posibilite la reactivación del pensamiento del sujeto cuando este se frene, ofreciendo ayudas a través de problemas auxiliares en vez de trabajar con ellos enseñando estrategias o cualquier otro tipo de recursos externos.

Destaca también este investigador que el mecanismo básico del pensamiento es el análisis a través de la síntesis que consiste en que: "...en el proceso del pensar, el objeto entra incesantemente en nuevas relaciones, en virtud de lo cual va adquiriendo nuevas cualidades que se fijan en nuevos conceptos; de esta suerte parece como si del objeto

se fueran sacando nuevos contenidos; es como si este cada vez se volviera de lado y presentara nuevas propiedades” (Rubinstein, 1996, p. 124).

El análisis a través de la síntesis conduce al cambio de las características conceptuales de los objetos del problema y a reformulaciones reiteradas de sus términos y de lo en él se pide, como consecuencia de que el análisis permite el descubrimiento de la dependencia de una proposición respecto a otra y, en consecuencia, la posibilidad de su sustitución.

El proceso como tal comienza sometiendo a análisis una situación problemática, que conduce a la formulación del problema que es diferente de la propia situación problemática, formulación esta que depende de cómo se halla efectuado el análisis indicado y continua con el análisis de unos términos, conceptos u objetos en unidad con otros en función de lo que se pide.

El hecho de que las investigaciones de Rubinstein no estaban dirigidas a describir los pasos necesarios para la resolución de problemas, sino a descubrir las leyes del pensar como proceso, por la relación del pensamiento con la resolución de problemas, las leyes establecidas permiten comprender como los procesos mencionados conducen de la situación problemática a la solución final.

Otra propuesta (Truyol, 2012) parte de la concepción de que la resolución de problemas es un proceso de construcción de representaciones, que comienza con la lectura del enunciado y toma el Modelo de la Situación de Van Dijk y Kinstch proveniente de la línea de procesamiento del discurso para la comprensión de textos y el Modelo de Problema de la teoría de la comprensión de *algebra-word problems* de Nathan, Kintsch & Young, que requieren esquemas de problemas e involucran sistemas de ecuaciones lineales. Este último modelo lo descomponen en Modelo Físico Conceptual y Modelo Físico Formalizado, quedando así conformado tres niveles de representación interdependientes para la comprensión de los problemas en física:

El *Modelo de la Situación*: está formado por entidades como los objetos y sus atributos y los eventos y sus características espaciales y temporales, junto a sus interrelaciones como son las de causalidad. Forman parte de uno de los tipos de conocimientos que necesitan ser organizados y estructurados para poder utilizarlos de manera eficiente en la resolución de problemas, específicamente del conocimiento situacional.

Este tipo de modelo permite imaginar los estados y el funcionamiento de los sistemas y dispositivos en términos cualitativos, propiciando la descripción, el análisis y la predicción.

El *Modelo Físico Conceptual*: Entre las entidades de este modelo se tienen las representaciones teóricas de los objetos y los eventos. Se refiere aquí a los objetos y eventos modelados (modelos conceptuales) y permite representar los estados y fenómenos asociados con sistemas físicos en términos cuantitativos, pero solo a nivel de operaciones mayor, menor, más que, menos que, nulo). Manejando magnitudes por leyes físicas. Constituye el conocimiento declarativo o conceptual.

El *Modelo Físico Formalizado*: Contiene entidades que son representaciones matemáticas de modelos de objetos, de eventos o fenómenos físicos. Como ejemplos aquí pueden mencionarse el punto, la esfera, los planos, las rectas, las trayectorias, los flujos las coordenadas. También incluye las representaciones de las propiedades de los modelos de objetos y de eventos como masa, velocidad, tiempo. Las interrelaciones entre estas entidades y sus propiedades están constituidas por las representaciones matemáticas de las leyes:

Este conocimiento es también parte del conocimiento conceptual.

Otros dos tipos de conocimientos son el operacional – procedimental y el estratégico que pueden ubicarse en las fases o etapas de determinación de la vía de resolución y de ejecución de la vía determinada.

Un tercer grupo de investigadores que conciben la resolución de problemas como investigación, se interesan en aproximar la actividad del estudiante al proceso de investigación propio de la ciencia. Gil Pérez y Martínez-Torregrosa proponen un modelo que desarrolla los siguientes pasos para la resolución de problemas cualitativos abiertos Aranzabal et al. (2011), Valera, (2002):

1. Análisis cualitativo del problema. Semejante al de otros modelos.
2. Emisión de hipótesis. Los estudiantes, a partir del análisis cualitativo, comienzan a hacer conjeturas que conducen al planteamiento de hipótesis.
3. Diseño de posibles estrategias de resolución. Construcción de estrategias tentativas a partir del análisis cualitativo y la emisión de hipótesis.
4. Resolución del problema.
5. Análisis de Resultados.

Trabajos que profundizan en el desarrollo de métodos que sean efectivos para aumentar la habilidad los sujetos para la resolución de problemas.

La literatura relacionada con la segunda línea de investigación, dada la influencia de las numerosas investigaciones vinculadas a la línea diferencia de expertos y novatos, da preferencia a estrategias que estimulan la apropiación de aquellos recursos que usan los expertos y uno de los métodos más usados para ello el de transferencia analógica (Sanjosé, Solaz-Portolés y Valenzuela, 2009; Gómez-Ferragud, Sanjosé, y Solaz-Portolés, 2016).

El método consiste en la resolución de problemas sea en equipos, o en colaboración con el profesor para contar con una buena fuente de problemas resueltos (estos problemas se les llama problemas fuente) y luego proponer problemas nuevos para resolver de forma independiente o en equipos llamados diana.

Se han propuesto cuatro etapas en el proceso de resolución por transferencia:

1. Codificación de las características del problema diana. (para lo cual se trabaja con las características de los problemas: su superficie o contexto y su estructura).
2. Acceso a uno o más problemas análogos (Problemas fuente).
3. *Mapping* (relación o asociación) entre componentes del problema diana y uno o más análogos fuente.
4. Ejecución de estrategias para llegar a la solución del problema diana.

Otro método consiste en trabajar con indicaciones heurísticas. En este se les entrega a los estudiantes una hoja de trabajo que ofrece estas indicaciones como orientación a la hora de resolver problemas en espera de que a medida en que la utilicen, vayan interiorizándola y dominándola cada vez más, hasta alcanzar el grado de habilidad necesario para un adecuado desempeño en la actividad (Pino, 2005).

Amestoy de Sánchez (2002) basa su trabajo para el desarrollo intelectual y de las habilidades del pensamiento en el paradigma de los procesos, que consiste en el logro, desde el punto de vista metacognitivo, de la toma de conciencia por parte de los estudiantes, de sus procesos cognoscitivos a través de la resolución de problemas y con ello lograr el desarrollo de habilidades de pensamientos que garantizan el éxito en esta actividad intelectual.

Por otro lado, están los investigadores que son partidarios de que más que problemas operacionales y procedimentales, los estudiantes tienen problemas conceptuales,

señalando la existencia de las llamadas ideas previas, teorías implícitas, intuiciones físicas que constituyen, en algunos casos un obstáculo para la comprensión de los conceptos científicos, y leyes de ciencias como la Física.

Resulta interesante, en este sentido, la comprensión de Moreira *et al.*, (2002) que, reconociendo la existencia de los modelos mentales y la necesidad de la enseñanza de modelos conceptuales, intentan una conciliación. Estos investigadores plantean: “Espontáneamente, el estudiante siempre construirá sólo modelos mentales, los cuales son análogos estructurales del mundo cuyo único compromiso es la funcionalidad personal. Construir modelos conceptuales es otra cosa, tanto es así que los modelos conceptuales de las Ciencias son construidos por los científicos” (p.49).

Sin embargo, a partir de la necesidad de la apropiación de los modelos conceptuales en el aprendizaje de las ciencias señalan: “El aprendizaje significativo implica la construcción de modelos mentales, pero para facilitar el aprendizaje significativo de modelos conceptuales es muy probable que se deba pasar el foco de la enseñanza hacia el modelaje en Ciencias”. (p. 50).

La idea expresada por estos investigadores es que, si bien el modelo conceptual es un instrumento de enseñanza, el del aprendizaje es el modelo mental y por lo tanto el objetivo de la enseñanza en este caso es que, a través de los modelos conceptuales, se lleve al estudiante a la construcción de modelos mentales, consistentes con los modelos conceptuales de los fenómenos estudiados.

Otro enfoque para la solución de esta misma problemática es la de Buteler y Coleoni (2016), quienes a partir del reconocimiento de la existencia de las llamadas intuiciones físicas, proponen no una eliminación, sino una “refinación” con ayuda de las matemáticas. Es autor del presente trabajo, en su Tesis en opción al grado de Máster en Matemática Educativa (2017) utilizó una estrategia basada en el paradigma de los procesos, logrando la toma de conciencia en relación con el análisis a través de la síntesis y desarrollando en los estudiantes sometidos a investigación, el desarrollo de habilidades algebraicas que le permitieron resolver problemas con sistemas de hasta cuatro ecuaciones lineales, usando el método de sustitución.

La estrategia utilizada contó con los siguientes pasos generales:

- Proponer la resolución de un problema que pueda ilustrar en que consiste el análisis a través de la síntesis y las formas en que se expresa: el cambio de las características conceptuales de los objetos del problema, la reformulación de sus términos, así como de su pregunta. (Si el estudiante reconoce en los diferentes momentos de la resolución donde y como ocurre este proceso y sus formas de expresión, le será más fácil dirigir su observación.
- Reflexionar acerca de la resolución de problemas ya resueltos para reconocer los diferentes momentos en que se producen.
- Resolver problemas cerrados heurísticos, del tipo en que se plantea un sistema de dos ecuaciones con dos incógnitas, para luego pasar a la solución de tres cuatro o cinco ecuaciones.
- Proponer la resolución de problemas con incremento gradual de número de reformulaciones de sus términos y cambios de características conceptuales de los objetos.
- Reformular el problema completo después de haber hecho algunas reformulaciones y cambios conceptuales.

- Elaborar problemas a partir de datos o situaciones físicas presentadas para ello.

Conclusiones

- 1- El modelo de comprensión para la solución de problemas que contempla el modelado como recurso para la misma y que está constituido por el Modelo de la Situación, el Modelo Físico Conceptual y el Modelo Físico Formalizado, constituye un extraordinario aporte de los estudios realizados en el contexto de las Ciencias Cognitivas, a la comprensión de la resolución de problemas en Física.
- 2- Este modelo también facilita la formalización matemática de los problemas en Física, lo que contribuye al desarrollo de habilidades en el uso de esta ciencia formal.
- 3- La propuesta metodológica de enseñanza de la resolución de problemas basada en el paradigma de los procesos resulta la más adecuada por que se basa en el desarrollo de los procesos cognoscitivos y del pensamiento en particular.

Recomendaciones

1. Resolver al inicio de un trabajo encaminado a elevar el desarrollo cognitivo de los estudiantes el uso de problemas cerrados heurísticos usando la metodología que se deriva del paradigma de los procesos, buscando desde el inicio la concientización de sus propios procesos cognoscitivos, utilizando para ello una metodología de trabajo como la utilizada por el autor, para lograr una elevación inicial del nivel de desempeño en la resolución de problemas.
2. Combinar la metodología anterior con la de la enseñanza por transferencia analógica, para la implementación del modelo de comprensión para la resolución de problemas, que puede ser más apropiada para la resolución de problemas indeterminados o cualitativos abiertos.
3. Tener presente que al margen de la utilidad de cualquier intento de ofrecer estrategias o recursos que faciliten el éxito en la resolución de problemas, lo que resulta más apropiado es lograr el desarrollo de habilidades de pensamiento, en la base de las cuales están los procesos analítico – sintéticos que, además, constituyen la vía más sólida para desarrollar habilidades para la formalización matemática y el trabajo algebraico.

Referencias Bibliográficas

- Amestoy de Sánchez, M. (2002). La investigación sobre el desarrollo y la enseñanza de las habilidades de pensamiento. *Revista electrónica de investigación educativa*, 4(1), 01-32. Recuperado en 10 de agosto de 2021, de http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1607-40412002000100010&lng=es&tlng=es.
- Aranzabal, J. G., Garate, M. C., García, J. M. A., y Herranz, J. L. Z. (2011). La resolución de problemas basada en el desarrollo de investigaciones guiadas en cursos introductorios de física universitaria. *Enseñanza de las ciencias: revista de investigación y experiencias didácticas*, 439-452.
- Ardila, A y Ostrosky-Solís, F. (2008). Desarrollo Histórico de las Funciones Ejecutivas. *Revista Neuropsicología, Neuropsiquiatría y Neurociencias*. Volumen 8, N° 1, pp. 1-121.

- Buteler, L. (2003). La Resolución de problemas en Física y su relación con el enunciado. *Revista de Enseñanza de la Física*, 16(1), 5-16.
- Buteler, L. y Coleoni, E. (2012). El conocimiento físico intuitivo, la resolución de problemas en Física y el lugar de las ecuaciones matemáticas. *Investigações em Ensino de Ciências* – 17(2), 435-452.
- Buteler, L., y Coleoni, E. (2016). Solving problems to learn concepts, how does it happen? A case for buoyancy. *Physical Review Physics Education Research*, 12(2), 020144. doi: 10.1103/PhysRevPhysEducRes.12.020144.
- Cardamone, R. (2004). Neuropsicología del Pensamiento: Un enfoque histórico-cultural. *Psicología Científica* - www.psicologiacientifica.com .
- De la Barrera, M.L y Donolo, D. (2009). Neurociencias y su importancia en contextos de aprendizaje. *Revista Digital Universitaria*. Volumen 10. Número 4. <http://www.revista.unam.mx/vol.10/num4/art20/int20.htm>.
- De Vega, M. (1985). *Introducción a la Psicología Cognitiva. Tomo II*. Editorial Félix Varela. Ciudad de La Habana.
- Eylon, B.S. y Linn, M.C. (1988). Learning and instruction: An Examination of four research perspectives in Science Education. *Review of Educational Research*, 58(3), pp. 251-301.
- Gómez-Ferragud, C., Sanjosé, V. y Solaz-Portolés, J. (2016). Estudios sobre comprensión y control de la comprensión en resolución de problemas académicos. *Revista de Enseñanza de la Física*. 28 (1), 21-35.
- Moreira, M., Greca, I. y Rodríguez, M. (2002). Modelos mentales y modelos conceptuales en la enseñanza & aprendizaje de las ciencias. *Revista Brasileira de Investigaçao em Educaçao em Ciências*, 2(3)84-96.
- Morey, A. (2017). Desarrollo del análisis a través de la síntesis mediante la resolución de problemas de Física con sistemas de ecuaciones. Tesis en opción al grado de Máster en Matemática Educativa. Universidad de Matanzas Camilo Cienfuegos.
- Pino Batista, M.G. (2005). *Procedimientos metodológicos para la comprensión de los problemas físico - docentes y la planificación en la escuela secundaria básica*. [Tesis de doctorado, Universidad de Matanzas]. Repositorio Institucional – Universidad de Matanzas.
- Rubinstein, S.L. (1966). *El proceso del pensamiento*. Editora Universitaria. La Habana Cuba.
- Rubinstein, S.L. (1973). *Principios de Psicología General*. Instituto Cubano del Libro. La Habana.
- Sanjosé, V., Solaz-Portolés, J. y Valenzuela, T. (2009). Transferencia interdominios en RP: una propuesta instruccional en el proceso de traducción algebraica. Transferencia inter-dominios en resolución de problemas: una propuesta instruccional basada en el proceso de «traducción algebraica. *Enseñanza de las Ciencias*. 27(2), 169–184.
- Solaz-Portolés, J. y Sanjosé, V. (2008). Conocimientos y procesos cognitivos en la resolución de problemas de ciencias: Consecuencias para la enseñanza. *Magis, Revista Internacional de Investigación en Educación*, 1(1), 147-162.
- Truyol, M. (2012). Comprensión y Modelado en la Resolución de Problemas en Física: Un estudio en Nivel Superior. [Tesis de doctorado, Universidad Nacional de Córdoba]. <https://www.famaf.unc.edu.ar/documents/1053/DFis163.pdf>

- Truyol, M., Sanjosé, V. y Gangoso, Z. (2014). Obstacles modelling reality: two exploratory studies on physics defined and undefined problems. *Journal of Baltic Science Education*, 13(6), 883-895.
- Varela Nieto, P. (2002). *La resolución de problemas en la enseñanza de las ciencias: aspectos didácticos y cognitivos*. [Tesis de doctorado, Universidad Complutense de Madrid]. Repositorio Institucional – Universidad Complutense de Madrid.