

**LA SELECCIÓN DE DIFERENTES TIPOS DE PROBLEMAS DE FÍSICA COMO
HERRAMIENTA PARA ORIENTAR PROCESOS COGNITIVOS**
(Selection of different types of physics problems as a tool to guide cognitive processes)

María Elena Truyol [mtruyol@famaf.unc.edu.ar]

Zulma Gangoso [zulma@famaf.unc.edu.ar]

Grupo de Educación en Física - Instituto de Física Enrique Gaviola - Facultad de Matemática,
Astronomía y Física - Universidad Nacional de Córdoba
Medina Allende s/n, Ciudad Universitaria, 5000, Córdoba, Argentina

Resumen

En el presente trabajo se utilizan distintos tipos de enunciados de problemas para estudiar características de procesos de resolución, entendidos como proceso de modelado. Se cuenta con un modelo de comprensión y se propone una clasificación para los enunciados de problemas en torno a la idea de modelo científico. Se construyen dos tipos de enunciados experimentales en relación a la especificidad del modelo científico explicitado en el enunciado: *indefinidos* y *bien definidos*. Se toman registros de los participantes, dos profesores universitarios, en audio y video durante una entrevista de resolución de problemas. El análisis de las entrevistas apoya la hipótesis de que diferencias en los enunciados generan diferentes procesos de resolución. Estas diferencias parecen estar asociadas con habilidades de modelado conceptual. Estos resultados resaltan algunas cuestiones significativas a ser consideradas por profesores a la hora de seleccionar problemas. Se discuten algunos criterios para seleccionar uno u otro tipo de enunciado de problema.

Palabras claves: resolución de problemas, modelización, problemas indefinidos, procesos cognitivos, selección de problemas.

Abstract

In this paper we use different types of word problems to study characteristics of problem-solving processes, understood as a modeling process. We work with a model of comprehension and we propose a classification for word problems around the idea of scientific model. An experimental set of two types of problems is constructed in relation to the explicit presence of the scientific model in the statement: *undefined* and *well-defined*. Subjects, two academics, were audio and videotaped during a problem-solving interview. The analysis of the interviews supports the hypothesis that differences in the statements generate different problem-solving processes. These differences seem to be associated with conceptual modeling skills. These results highlight some significant issues to be considered by teachers when selecting problems. We discuss criteria to guide the selection of one or another type of statement.

Keywords: problem-solving, modeling, undefined problems, cognitive processes, statement selection.

Introducción

La resolución de un problema es un proceso de construcción de representaciones que comienza con la lectura del enunciado. Por esta razón, el enunciado cobra un rol central en aquellas investigaciones que entre sus objetivos se encuentra el estudio de modelos cognitivos de estos procesos y la exploración de posibilidades de simulación de los mismos.

Desde 1957, con el *General Problem Solver* de Newell, Shaw y Simon, muchos han sido los intentos, dentro de la línea del procesamiento de la información, de crear modelos de resolvedores expertos de problemas. Al momento de reconocer la necesidad de incorporar a estos programas conocimientos específicos con los cuales resolver problemas, la resolución de problemas en Física tuvo un lugar relevante en estos desarrollos. La Física, ciencia constituida por modelos,

facilitó la incorporación de este conocimiento en forma de *reglas*. Si bien estas propuestas han servido como base de muchas investigaciones posteriores, las críticas fundamentales han estado dirigidas a la forma en que son tenidos en cuenta algunos factores como el contexto, la creatividad, la toma de decisiones, etc. La mayoría de estas propuestas trataban con problemas que, de momento, llamaremos “bien definidos”. Estos problemas son aquellos cuya formalización puede ser establecida mediante reglas algorítmicas que permitan encontrar su solución (Torre de Hanoi, ajedrez, etc.). En el ámbito de la Física pueden encontrarse ejemplos de resolvedores expertos en Larking, McDermott & Simon, 1980; Novak, 1982; Larkin, 1989; Greeno, 1989; Kook & Novak, 1991. Estas propuestas sin embargo, no permiten resolver problemas de tipo cotidiano, ya que la complejidad de los mismos no permite que puedan ser reducidos a un simple algoritmo.

Es posible reconocer que la mayoría de los problemas que se encuentran cotidianamente, ya sea en la vida diaria como en el desempeño profesional como físico, son problemas de tipo “indefinido”. Este tipo de problemas no puede, en principio, ser reducido a un algoritmo para ser resueltos. Los mismos implican la toma de decisiones por parte de los resolvedores, son influenciados por el contexto en el que está planteado y resultan sensibles a diferencias personales entre resolvedores, entre otros factores. La pregunta que surge en este punto es: ¿es posible modelar el proceso de resolución de este tipo de problemas?

Las investigaciones en ciencia cognitiva han avanzado lo suficiente como para poder sugerir que esto sería posible dentro de ciertos límites. Para ello es necesario contar con una descripción o caracterización de este proceso. Esto requiere por un lado un modelo para el proceso de resolución de problemas en física, entendido como proceso de modelado, y por otro una tarea delimitada, esto es una clasificación de tipos de enunciados utilizados.

La investigación en la cual se encuentra inmerso el presente trabajo pretende integrar y avanzar sobre estudios teóricos y desarrollos metodológicos originados en las áreas de Resolución de Problemas en Física, Modelos y Modelado Científico con el fin de generar un marco que permita interpretar el fenómeno de fracaso y, sobre esa base, diseñar entornos de aprendizaje que favorezcan desempeños exitosos.

El presente trabajo, constituye un estudio que indaga sobre características de procesos de resolución, entendidos como procesos de modelado, generados por distintos tipos de enunciados de problemas de física. Para ello se trabaja sobre entrevistas de resolución de problemas con un marco teórico que pretende dar cuenta del proceso de comprensión/resolución de un problema de física y una propuesta de clasificación para tipos de enunciados de problemas.

El modelo teórico propuesto

El marco teórico con el cual se trabaja, es el denominado (provisoriamente) “Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física”. El mismo pretende dar cuenta del proceso de comprensión/resolución de un problema instruccional de física. Este constructo tiene entre sus principales aportes la teoría del procesamiento del discurso de Van Dijk y Kintsch (Van Dijk & Kintsch, 1983; Kintsch, 1998) y la teoría de comprensión propuesta por Nathan, Kintsch y Young (1992) para los denominados *algebra-word problems*.

Un problema instruccional es una situación física descrita mediante un texto denominado *enunciado*. Éste está expresado en lenguaje natural, pudiendo incorporar símbolos, íconos y gráficos (expresiones de sistemas de representación externos). La situación presenta una historia verosímil que involucra objetos y eventos que pueden ser subsumidos en conceptos y principios físicos. Un problema presenta alguna cuestión a resolver que puede ser abordada desde las leyes físicas que explican el evento. Los problemas presentados a los estudiantes son preparados por los profesores y tienen alguna solución (Gerace, Dufresne & Leonard, 1997; Gangoso et al., 2004).

Estos problemas son ampliamente utilizados tanto en la instancia de instrucción como en la de acreditación. Es en esta etapa de acreditación en la que una resolución es, o no, *exitosa* dependiendo de si permite, o no, aprobar esta instancia. En este sentido se entenderá a las soluciones *exitosas*.

En cuanto al proceso de solución, estudios desarrollados a partir de los 80, muestran que un aspecto relevante del comportamiento que lleva a soluciones *exitosas* consiste en que el que resuelve comprende la situación y genera una representación interna que le permite hacer una discusión y predicciones cualitativas. Sobre esa base, puede obtener una representación formal del problema. Esta representación formal (también interna), incorpora los objetos y eventos descritos en la situación, en conceptos, leyes y principios, cambiando las características ontológicas de la nueva representación. La competencia para resolver problemas de física radica principalmente en la habilidad para reformular el problema en términos de estas representaciones, usualmente llamados *modelos*¹, más que destreza matemática o utilización de leyes aisladas. Los estudiantes, sin embargo, empiezan a resolver problemas "buceando" en expresiones numéricas o algebraicas, manipulan ecuaciones tratando de "llenar huecos" hasta encontrar alguna combinación que les lleve a la respuesta. Ocasionalmente utilizan su conocimiento para comprender la situación y menos aún para analizarla. Este modo de enfrentar el problema, hace difícil que puedan planear caminos de acción. Al llegar al resultado, rara vez controlan su razonabilidad ya que la situación, para ellos, ha quedado sin sentido en las primeras etapas. (Gangoso et al., 2004; Truyol, 2006). Se advierte que existe un interjuego entre las "representaciones externas" presentadas al sujeto o producidas por él y las representaciones internas construidas por él. Existen, en la psicología cognitiva, discusiones no resueltas en relación a si la cognición es solamente interna o bien distribuida. Cualquiera sea la concepción de cognición que se trate, todas atienden la construcción de representaciones externas. En este sentido, en este estudio se considera y se trabaja suponiendo que las representaciones externas condicionan el tipo de representación interna construida por el sujeto. Asimismo se supone que las representaciones externas producidas por los sujetos (escritas o verbalizadas) recogen los aspectos más relevantes de su representación interna.

Al considerar que la resolución de un problema comienza con la lectura del enunciado, resulta relevante incluir propuestas provenientes de la línea de procesamiento del discurso. El Modelo de la Situación, propuesto por Van Dijk y Kintsch (Van Dijk & Kintsch, 1983; Kintsch, 1998) para la comprensión de textos, es una representación mental de los objetos, acciones y eventos mencionados explícitamente en el texto y los inferidos por el lector a partir de su conocimiento del mundo. Si bien la lectura del texto enunciado de un problema de Física genera un Modelo de la Situación tal como es propuesto por Van Dijk y Kintsch, con los objetos y eventos mencionados o no en el texto, existen algunas cuestiones a tener en cuenta en este tipo particular de texto. En la resolución de problemas, las características del texto "enunciado de un problema" son diferentes a las que presentan los textos utilizados en investigaciones clásicas sobre procesamiento del discurso. En primer lugar, el texto enunciado de un problema presenta al lector/resolvedor una demanda que dirige y orienta fuertemente los objetivos de la lectura. En el proceso de comprensión de textos general los objetivos pueden en algunos casos ser muy generales e indefinidos, mientras que en otros son bien definidos (Graesser, Singer & Trabasso, 1994). En el caso de la lectura de un enunciado de un problema, el objetivo está bien definido. Es necesaria la construcción de un modelo de la situación que posibilite, más allá de dar coherencia local y global al enunciado, la resolución del problema.

En este sentido, el "Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física" que se propone, plantea la existencia de una representación *Modelo de la Situación* (MS), del tipo propuesto por Van Dijk y Kintsch pero diferente en cuanto a los objetivos de utilización posterior.

¹ Se utiliza la idea de "modelo" para la representación interna que, como su análogo científico, otorga la posibilidad de generar preguntas, anticipar, predecir y explicar.

La teoría de comprensión para *algebra-word problems* (Nathan, Kintsch & Young, 1992), que tiene como antecedente inmediato la teoría de procesamiento del discurso de Van Dijk y Kintsch, considera la construcción de representaciones que se generan en la lectura de esos problemas. El enunciado de un *algebra-word problem* contiene varios objetos y eventos especificados de alguna manera, son problemas sencillos que para su resolución requieren “esquemas de problemas” que involucran ecuaciones (o sistemas de ecuaciones) lineales.

Para abarcar los problemas instruccionales de física, se adapta la propuesta de Nathan et al. (1992), disociando la representación “Modelo de Problema” en dos representaciones diferentes: el *Modelo Físico Conceptual* (MFC) y el *Modelo Físico Formalizado* (MFF).

En resumen, el presente modelo de comprensión postula, para el proceso de resolución de problemas de física, la existencia de tres niveles de representación, interdependientes, con diferente naturaleza ontológica y diferente nivel de abstracción (Ver Tabla 1). Un nivel conformado por los objetos y hechos del mundo (categorías concretas), otro por los conceptos, magnitudes, principios y leyes físicas y otro por las entidades matemáticas, siendo estos dos últimos los niveles de categorías abstractas.

El modelo propuesto pretende dar cuenta de la complejidad y dinámica del proceso de resolución. El *Modelo de la Situación* que mayor probabilidad tiene de evolucionar hacia el *Modelo Físico Conceptual* será aquel que integre los objetos y eventos que son esenciales para describir la evolución del sistema físico presentado en el enunciado. Así el *Modelo Físico Conceptual* se concibe como una representación que puede subsumir los objetos en conceptos y los eventos en las leyes físicas correspondientes. Se incorporan también procedimientos: condiciones de validez, posibilidad de generalización, etc. De esta manera, el *Modelo Físico Conceptual* que tiene más posibilidades de evolucionar al *Modelo Físico Formalizado* es aquel que ha podido incorporar de manera sustancial estos elementos de forma de dar cuenta de la evolución del sistema. El *Modelo Físico Formalizado* -representación expresada en lenguaje matemático- está en condiciones de incorporar los datos necesarios para realizar cálculos y obtener resultados con significado físico (Truyol, et al., 2008; Gangoso et al., 2008).

Esta propuesta teórica así presentada, retoma los aportes existentes de Gangoso et al., (propuesta original del modelo, que puede consultarse en Truyol, 2006, y en Truyol & Gangoso, 2009), y los enriquece con aportes de distintas líneas de investigación, tales como la de modelado como habilidad en la resolución de problemas (Lemeignan & Weil-Barais, 1994; Etkina et al., 2006; Lopes & Costa, 2007; Sensevy et al., 2008; Fortus, 2009), visualización (Gilbert, Reiner & Nakhleh, 2008), modelos científicos (Bunge, 1982; Gilbert, Boulter & Rutherford, 1998 a y b), formatos de representación (Williams, 1999; Kohl & Finkelstein, 2006; Lemke, 2004; Brookes & Etkina, 2007) y tipos de representaciones construidas en la resolución de problemas (Roschelle & Greeno, 1987; Greeno, 1989; Nathan, Kintsch & Young, 1992; Gaigher, Rogan & Braun, 2007; Gangoso et al., 2008).

Se asume, en este modelo propuesto, que la comprensión de un problema instruccional de física implica las habilidades necesarias para la construcción y manejo de las distintas representaciones. Estas habilidades son las que denominaremos *habilidades de modelado*, que involucran tanto la construcción de las representaciones de las situaciones, el manejo con fluidez de las distintas representaciones construidas y la (re) interpretación de dichas representaciones. El uso efectivo de estas representaciones incluye su coordinación, dando la posibilidad de reconocer conflictos entre ellas, revisar cada representación y construir representaciones consistentes. En este sentido, se adhiere a la propuesta de una teoría relacional de las distintas representaciones (Roschelle & Greeno, 1987; Greeno, 1989) en la que las distintas representaciones construidas se realimentan entre sí, en lugar de que las nuevas representaciones construidas sustituyan a sus antecesoras.

En el interés de describir esta interrelación entre las distintas representaciones construidas se define:

- Habilidad de *modelado físico*: habilidad de construcción de una representación conceptual de la situación concreta. Implica el conocimiento de procedimientos, leyes y conceptos físicos y sus condiciones de validez.
- Habilidad de *modelado formal*: habilidad de construcción de una representación formalizada matemáticamente de la representación conceptual. Implica el conocimiento de los procedimientos y sintaxis matemática, sus alcances y limitaciones.

Así, cuando un sujeto, desde la representación física conceptual plantea una situación del mundo, se dice que ha *instanciado* y, cuando desde la formulación matemática puede “leer” el modelo físico se dice que ha *interpretado*.

Tabla 1: Algunas características del Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física

	<i>Modelo de la Situación</i>	<i>Modelo Físico Conceptual</i>	<i>Modelo Físico Formalizado</i>
<i>Componentes</i>	Objetos y sus atributos. Eventos y sus características espacio temporales.	Modelizaciones de objetos, eventos y sus características.	Símbolos abstractos o expresiones formales que representan a los objetos, eventos, sus características y relaciones
<i>Regido por</i>	Principios cotidianos sobre el funcionamiento del mundo.	Principios y leyes físicas. Condiciones de aplicación o validez física.	Formalismo matemático. Condiciones de aplicabilidad o validez matemática.
<i>Categorías ontológicas</i>	No abstractas, perceptibles con los sentidos o a través de elementos de la vida cotidiana.	Abstractas, son representaciones teóricas de los objetos, eventos con sus atributos y características (aún cuando sus referentes puedan ser concretos).	
<i>Formato de representación externa</i>	Representaciones concretas (modelos a escala, etc). Dibujos, diagramas, esquemas. Símbolos Palabras.	Diagramas, esquemas, gráficos (específicos). Símbolos. Palabras. (Ej: Mapas conceptuales)	Símbolos. Ecuaciones.
<i>Dimensión de la representación</i> ²	3-D; 2-D; 1-D	2-D; 1-D	1-D
<i>Lenguaje</i>	Natural	Técnico (artificial)	Matemático
<i>Posibilita</i>	Describir, analizar, predecir a nivel cualitativo.	Describir, analizar y predecir en términos de órdenes de magnitud. Análisis de situaciones límite, prohibidas o imposibles.	Analizar las expresiones en cuanto a la “legalidad” del formalismo. Calcular y operar.
<i>Potencia explicativa</i>	- —————> +		

Una representación esquemática del modelo propuesto se presenta en Ilustración 1. La misma no pretende representar una secuencia lineal y única, aunque se reconoce que la resolución de un problema de física comienza con la construcción del *Modelo de la Situación* a partir de la lectura del enunciado. Estudios previos (Truyol, 2006) han mostrado a la resolución de problemas en física como un proceso de puesta en juego secuencial de habilidades específicas. Este estudio

² La dimensión de la representación se relaciona con la posibilidad de representación en el espacio, en un plano o en una recta.

también muestra que dicha secuencia temporal de habilidades presenta una direccionalidad definida, con condiciones aparentemente necesarias, pero no suficientes, para avanzar en el proceso.

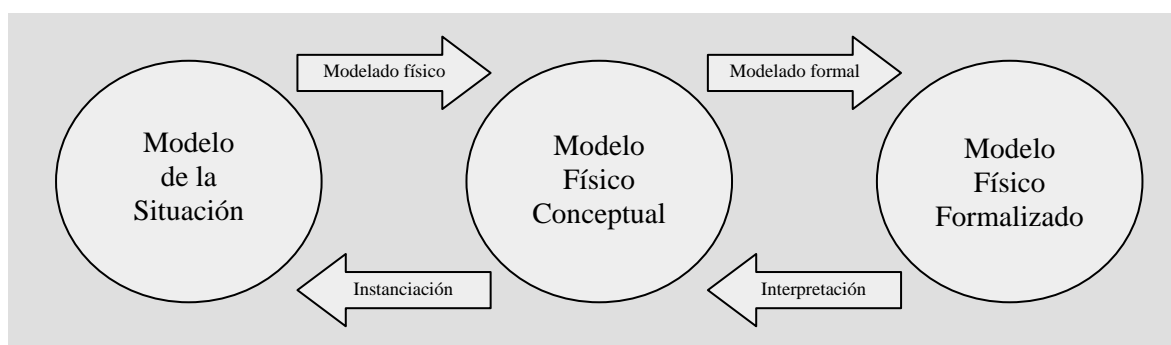


Ilustración 1: Representación esquemática para el Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física

Sobre clasificación de enunciados de problemas

Existe una importante cantidad de investigaciones en relación a los efectos de la utilización en la instrucción de distintos tipos de problemas. En particular, la mayoría han estado relacionadas con diversos aspectos de la utilización de “problemas bien definidos” (well-defined / well-structured problems) y “problemas indefinidos” (ill-defined / ill-structured problems) (Heller y Hollabaugh, 1992; Schraw, Dunkle & Bendixen, 1995; Leonard, Dufresne, & Mestre, 1996; Ringenberg & VanLehn, 2008, Fortus, 2005, 2009). Esta clasificación, la cual de alguna manera está relacionada a la estructura del problema, es para algunos autores un factor que incide en la habilidad de resolver problemas (Schraw, Dunkle & Bendixen, 1995).³

La definición para cada una de estas dos categorías de problemas presenta variaciones de un autor a otro, pero en general es posible mencionar algunas características en las cuales son coincidentes. Los “problemas bien definidos” son aquellos para los cuales se provee toda la información necesaria para resolverlos y, de esta manera, no es necesaria la realización de supuestos objetivos. Por tanto, para este tipo de problemas queda determinada una única vía de solución. Los “problemas indefinidos”, por su parte, carecen de información necesaria para llegar a la solución y requieren por parte del resolutor la realización de supuestos objetivos. Esto origina que las soluciones a este tipo de problemas puedan ser tantas como la cantidad de resolutores. La diferencia básica entre los “problemas bien definidos” y los “problemas indefinidos” radica, por tanto, en la cantidad de condicionamientos o grados de libertad a los que se encuentran restringidos. Estos condicionamientos son los que finalmente determinan la información pertinente al problema y las operaciones que son permitidas para resolverlo (Fortus, 2009).

La distinción de los “problemas bien definidos” como contrapuestos a los “problemas indefinidos” surge en el marco del procesamiento de la información (Simon, 1973). La conceptualización es ayudada por esta teoría a partir de considerar cómo está compuesto un problema. Esta línea señala que un problema tiene un estado inicial claro, un conjunto de operadores permitidos y un estado final u objetivo. Si alguno de estos componentes no está bien especificado, el problema cae en la categoría de “problemas indefinidos”. La categoría de “problemas indefinidos” es, entonces, una categoría amplia, que puede abarcar muchos tipos de problemas. Por ejemplo, quedarían incluidos en esta categoría aquellos en los que la especificación del problema es incompleta, aquellos para los cuales existen múltiples soluciones posibles que no

³ La bibliografía consultada presenta una utilización indistinta de los términos “defined” y “structured”.

son equivalentes pero igualmente válidas, aquellos en los que no hay solución definitiva en la que los expertos puedan acordar, etc.

Otra clasificación ampliamente difundida en la investigación del área de resolución de problemas es la de “problemas cerrados” (closed problems) y “problemas abiertos” (open-ended problems⁴). En relación a la diferenciación entre problemas “cerrados” y “abiertos” encontrada en la bibliografía, puede señalarse que el primer tipo se relaciona con que tiene una única solución, mientras que el segundo tipo puede tener una variedad de soluciones. Un “problema abierto” también puede ser descrito en términos de la apertura de los métodos disponibles para la solución (Kahney, 1986, en Reid & Yang, 2002; Watts, 1994, en Escudero & Moreira, 1999). En cuanto a los “problemas bien definidos” y “problemas indefinidos”, señala que la diferenciación está relacionada a su especificidad. Esta definición tiene que ver con la manera en que son presentados los elementos del problema, la determinación de los límites y objetivos del problema, los criterios existentes para evaluar las soluciones y el grado de incertidumbre sobre qué conceptos, leyes o principios son necesarios para encontrar una solución.

Si bien estas categorizaciones de problemas presentadas son extensamente utilizadas en la investigación en resolución de problemas en ciencias, caso particular física, es posible encontrar algunas contradicciones en cuando a la definición de las mismas. Existen trabajos para las cuales es imposible diferenciar estas dos clasificaciones, siendo las definiciones que los autores presentan para la categoría bien definido/indefinido (Greeno, 1976; Fortus, 2005, 2009; Reingenberg & VanLehn, 2008) indistinguible de la presentada para la categorización cerrado/abierto (Gil Perez & Martínez-Torregrosa, 1983, Perales Palacios, 1993, Gil Perez & Martínez-Torregrosa, 1988, en Escudero & Moreira, 1999; Reid & Yang, 2002). Incluso es posible encontrar un uso indistinto de los nombres “ill-definded” y “open-ended” (Antonenko et al., 2007; Ogilvie, 2008). Por otro lado, también existen autores que si bien distinguen los problemas abiertos de los indefinidos no especifican claramente cuáles son sus diferencias (Hong, McGee & Howard, 2001; Vazgen & Etkina, 2007; Jonassen & Hung, 2008). En estos casos, es posible que los autores hagan referencia a problemas abiertos (open-ended) como contraposición a problemas de opción múltiple (multiple-choice) atendiendo al formato de respuesta de los problemas (Sabella, 1999; Hong, McGee & Howard, 2001).

Esta revisión, si bien no es extensa, presenta claramente la problemática en cuanto a tipos de problemas considerados en la investigación en resolución de problemas en ciencias y en particular en física. Las categorizaciones discutidas no son claras, ni independientes ni dicotómicas, por lo que la pertenencia de un problema a una u otra categoría quedará, en algunos casos, sujeta a consideraciones subjetivas. Categorizaciones de este tipo no pueden ser utilizadas como variables a la hora de investigar. Se hace necesario entonces la selección de un criterio que aporte mayor claridad a una propuesta de clasificación de enunciados de problemas de física.

El modelo científico como criterio de clasificación

Cuando se pretende estudiar de manera sistemática la incidencia del tipo de enunciado en el proceso de resolución de problemas es necesario definir claramente el sistema de clasificación ha utilizar. Se ha mencionado anteriormente que la diferencia principal entre problemas “bien definidos” e “indefinidos” se encuentra en la cantidad de restricciones que presentan. En un problema de física, estas restricciones están fuertemente vinculadas al modelo científico que es posible utilizar para simplificar y describir la situación. Por ello se propone considerar como criterio

⁴ Tradicionalmente la terminología “open-ended problem” es utilizada en lugar de “open problem”. Sin embargo, para ser estrictos, los primeros son una categoría de los segundos, para la cual lo que no está especificado es el estado final del problema.

de clasificación el grado de definición de un problema en relación a cuán definido, especificado o establecido esté algún modelo científico que lo describa y permita resolverlo.

En la tarea de recortar o acotar un fenómeno para construir un modelo del mismo, se simplifican objetos, interacciones entre objetos, sistemas (objetos junto con sus interacciones) y procesos (Etkina, Warren & Gentile, 2005). Estos recortes constituyen modelos de objetos, modelos de interacciones, modelos de sistemas y modelos de procesos, esto es, representaciones simplificadas de los mismos. Con esto en mente, es posible categorizar a los problemas en relación a los modelos presentes en su enunciado. Un problema presentado en términos de objetos, interacciones, sistemas y procesos será un *problema indefinido*, donde la palabra indefinido hace referencia a la indefinición de un modelo científico que describa la situación. Su contraparte, el *problema bien definido*, será aquel presentado en términos de modelos de objetos, modelos de interacciones, modelos de sistemas y modelos de procesos. En este caso, bien definido hace referencia a la determinación de un único modelo científico que permita la descripción de la situación.

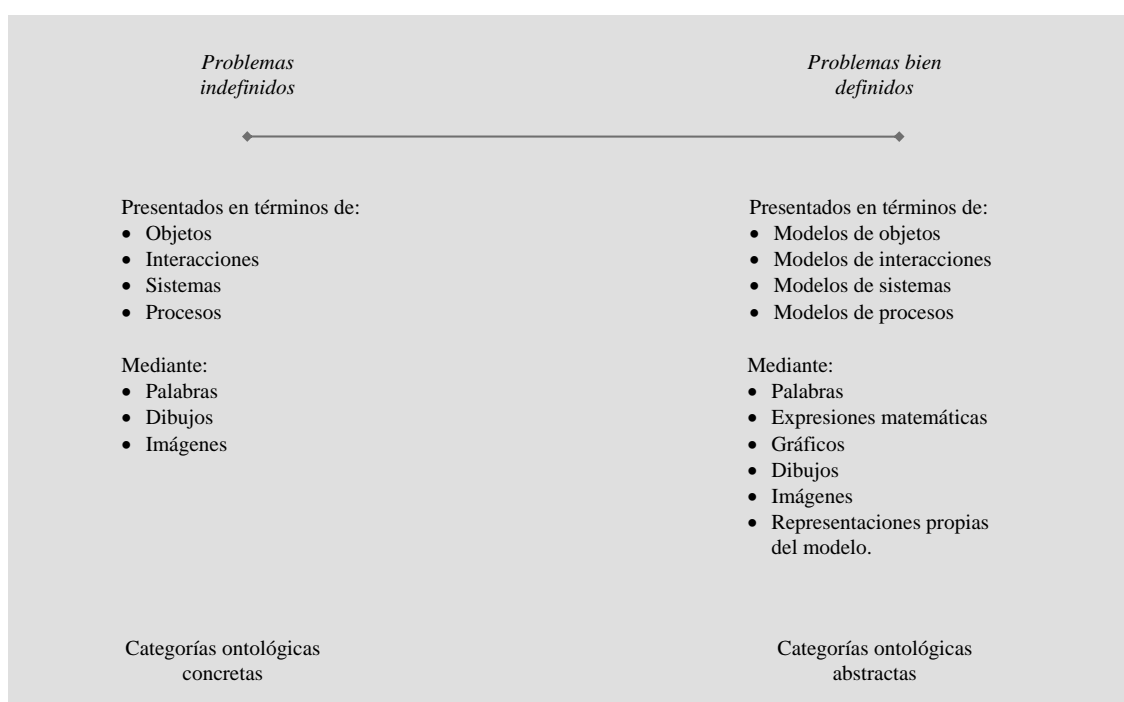


Ilustración 2: Propuesta de clasificación de problemas en relación al modelo científico que lo describe.

Es interesante señalar que esta clasificación propuesta, presentada en forma reducida en Ilustración 2, presupone también una clasificación de naturaleza ontológica. El sistema físico al que se refiere el enunciado, puede estar presentado mediante objetos y eventos del mundo cotidiano, es decir en término de categorías ontológicas concretas: un auto que circula por una ruta y choca contra un camión que circula en sentido contrario. El mismo sistema físico puede presentarse en el enunciado mediante modelos para los objetos y eventos, abstracciones, conceptos, leyes y principios, es decir, en término de categorías ontológicas abstractas: una masa puntual que se desplaza en línea recta colisiona con otra masa puntual que se desplaza en la misma dirección pero en sentido opuesto. Es habitual encontrar también, y para ello basta consultar los problemas de final de capítulo de los libros tradicionales, enunciados que combinan entidades pertenecientes a categorías ontológicas diferentes: un auto de masa $m_1=1000$ kg, que circula en el sentido x positivo con una velocidad cuyo módulo es de $v_1=75$ km/h, colisiona con un colectivo, de masa $m_2=5000$ kg que circula en sentido x negativo con una velocidad cuyo módulo es de $v_2=90$ km/h).

De esta manera, los enunciados que hacen referencia sólo a entidades concretas y los que hacen referencia sólo a entidades abstractas, constituyen extremos de una dimensión dentro de la

cual es posible encontrar distintos grados de combinación concreto/abstracto que se relaciona directamente con distintos grados en la dimensión *indefinido/bien definido* propuesta. En este sentido, queda pendiente un trabajo teórico para determinar si es posible definir un orden dentro de la dimensión *indefinido/bien definido*, atendiendo a distintas combinaciones de elementos modelados o no.

Varias propuestas para la utilización de distintos tipos de enunciados de problemas han tratado de abordar la problemática objetivo de este trabajo. Una de las mas difundidas en nuestra lengua, con amplia difusión desde 1983, ha sido la propuesta de “problemas abiertos” de Gil Pérez y colaboradores. Para los problemas definidos como abiertos por estos autores (Gil Pérez & Martínez Torregrosa,1983) no se menciona más fundamento para su construcción que la eliminación de datos numéricos que puedan resultar un obstáculo en la tarea de superar la llamada “metodología de la superficialidad”. En el caso propuesto en el presente trabajo, la calidad de indefinido se adquiere en relación a la “distancia” a que se encuentren, los elementos contenidos en el enunciado, del modelo conceptual (modelo científico) que mejor representa la situación planteada. Se cree que estos elementos, modelados o no, podrían ser seleccionados por el profesor en relación a las habilidades cognitivas que desea desarrollar.

Más allá de las cuestiones metodológicas planteadas en el apartado anterior, y dado que el objetivo de este trabajo es ofrecer algunas ideas que puedan resultar útiles a la hora de seleccionar problemas, esta propuesta de problemas bien definidos y problemas indefinidos intenta ir un poco más allá que la propuesta de “problemas abiertos” de Gil Pérez.

El estudio

En este trabajo se estudian características de procesos de resolución generados por distintos tipos de enunciados de problemas. El principal objetivo es verificar que los enunciados construidos para cada categoría activan procesos de resolución diferente.

Para tener en cuenta un factor importante a la hora de resolver un problema como es el conocimiento previo, en esta etapa se trabaja con profesores universitarios de larga trayectoria.

Para el presente diseño experimental, las hipótesis que se manejan son:

- Enunciados de características diferentes generan procesos de resolución diferentes.
- Enunciados de *problemas indefinidos* generan procesos de resolución que involucran todas las habilidades propuestas en el modelo teórico.
- La diferencia entre procesos de resolución generados por enunciados de *problemas indefinidos* (PI) y los procesos de resolución generados por enunciados de *problemas bien definidos* (PBD) está en la cantidad de “pasos” que se deben realizar para representar el problema en términos del modelo teórico que permite resolver la situación planteada.

Investigaciones previas nos han permitido definir indicadores referidos a la construcción y manejo de las distintas representaciones involucradas en el proceso de resolución de un problema instruccional (Truyol, 2006; Truyol et al., 2008; Gangoso et al., 2008; Truyol & Gangoso, 2009). A partir de estos indicadores, y teniendo en mente los dominios propuestos por Greeno (1989) y el trabajo realizado por Gaigher, Rogan & Braun (2007), es posible reconocer acciones que pueden ser asociadas con aquellas habilidades que hemos denominado de modelado. Asumiendo que las representaciones externas de la resolución (escritas, gráficas, verbales e incluso gestuales) son reflejo de las representaciones internas construidas por el sujeto, se considera factible que estas acciones sean reconocidas en un proceso de resolución verbalizado y escrito.

Construcción de los enunciados experimentales

En particular se pretende trabajar con los extremos de la clasificación de problemas propuesta, ya que se supone son los que pueden acusar mayores diferencias en los procesos de resolución de enunciados de uno y otro tipo. Esto implica suponer que la diferencia en los procesos de resolución estarían ligados de alguna manera a la diferencias en los componentes ontológicos de los enunciados.

Se generan enunciados experimentales, a partir de enunciados de los que podríamos llamar tradicionales. Estos enunciados tradicionales son los habitualmente presentados en guías de trabajos prácticos y en finales de capítulos a nivel de física universitaria básica. Los mismos presentan una combinación de entidades concretas y abstractas (o modeladas). Los enunciados experimentales se corresponden a los que hemos categorizados como *problemas bien definidos* (PBD) y *problemas indefinidos* (PI). Esto es, los enunciados de problemas indefinidos estarían en termino de objetos, interacciones, sistemas y procesos, mientras que los bien definidos estarían en término de modelos de objetos, modelos de interacciones, modelos de sistemas y modelos de procesos.

Tabla 2: Ejemplo de construcción de enunciados experimentales.

Versión	Enunciado
Tradicional	<p>Calcule la velocidad que debe dársele, desde el suelo, a un ladrillo común, para alcanzárselo a un albañil que está en el techo de una casa de una planta.</p> <p>Datos:</p> <p style="padding-left: 40px;">Altura a la que el albañil recibirá el ladrillo: 4 m (sobre el suelo)</p> <p style="padding-left: 40px;">Altura desde la que parte el ladrillo: 1,5 m (sobre el suelo)</p>
Bien definido	<p>Una masa puntual de $m = 0,5$ kg se mueve verticalmente partiendo desde una altura $h_1=1,5$ m debiendo alcanzar una altura $h_2=4$ m. Teniendo en cuenta que el movimiento se realiza exclusivamente bajo la acción de la gravedad, determinar la mínima velocidad inicial necesaria.</p>
Indefinido	<p>Un albañil lanza un ladrillo desde la calle hasta su compañero, situado en el techo de una casa de una planta. Determine las condiciones para que el ladrillo llegue a su destino.</p>

En este primer diseño se recortan las posibilidades de representación del enunciado, trabajando solamente con textos, sin representaciones gráficas de ningún tipo. Los problemas pertenecen a guías de trabajos prácticos utilizados en la instrucción universitaria, a nivel de física general, abarcando tópicos correspondientes a mecánica, termodinámica y electricidad.

La manipulación de estos enunciados se realiza teniendo en cuenta que en la versión “*problema indefinido*” la situación debe estar presentada con objetos y situaciones del mundo, minimizando la presencia de términos o conceptos físicos, variables y valores numéricos. En tanto, en la versión “*problema bien definido*”, la situación es descrita en términos de objetos formales, conceptos físicos, variables y valores numéricos, con la idea subyacente de proveer de la manera más completa posible el modelo físico involucrado en el problema. Puede encontrarse un ejemplo aclaratorio en la Tabla 2.

Entrevistas de resolución

Para este trabajo se realizan entrevistas a dos profesores universitarios, tomando registros de audio y video de la resolución realizada en papel (Ver Ilustración 3). En ellas, cada uno resuelve un mínimo de dos problemas distintos uno en versión PBD y otro en versión PI, en ese orden, ambos pertenecientes a la misma área temática (Ver Figura 1). El rol del entrevistador es de observador con mínima participación. Estas intervenciones están destinadas a facilitar la explicitación por parte del experto del proceso de resolución, sólo en caso de ser necesario. Es de esperar que como se entrevista a profesores, la verbalización de la resolución sea fluida y detallada. La única consigna que se les da antes de entregarles el primer problema es que debían resolver el problema en voz alta, explicitando en detalle la justificación de cada una de sus acciones. De igual manera se procede con el segundo enunciado experimental.

En esta etapa se trabaja con físicos de amplia experiencia docente en materias relacionadas al área temática abarcada en la entrevista de resolución. Esta elección se realiza con el objetivo de controlar la variable conocimiento previo, asumiendo que en estos sujetos, de amplia experiencia tanto en la resolución de problemas como en el desempeño profesional, las diferencias entre los procesos de resolución podrán ser atribuidas a los diferentes tipos de enunciados presentados.

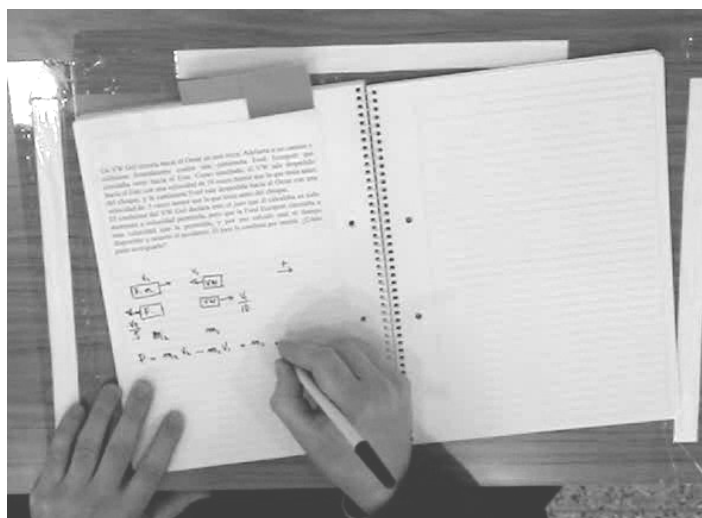


Ilustración 3: Captura perteneciente al video grabado de una de las entrevistas.

- Se desplazan dos masas puntuales de $m_1 = 4 \text{ kg}$ y $m_2 = 2 \text{ kg}$ sobre una superficie horizontal sin rozamiento, situando la masa pequeña tras la grande y uniéndolas con un dinamómetro horizontal. Aplicando una fuerza horizontal $F = 12 \text{ N}$ sobre la masa grande, el dinamómetro se comprime y el sistema se acelera. ¿Qué valor registra el dinamómetro?
- Un albañil lanza un ladrillo desde la calle hasta su compañero, situado en el techo de una casa de una planta. Determine las condiciones para que el ladrillo llegue a su destino.

Figura 1: Ejemplo de pareja de enunciados utilizado en las entrevistas

En los dos casos que aquí se reportan, a cada sujeto se le presentan dos problemas pertenecientes al área de Mecánica Newtoniana: una situación que puede ser explicada y resuelta considerando conservación de energía mecánica y otra en la cual es posible la resolución a partir de conservación de momento lineal, de acuerdo a lo mostrado en Ilustración 4.

<i>Profesor A</i>		<i>Profesor B</i>	
PBD_1	$\Delta E = 0$	PBD_2	$\Delta \vec{P} = 0$
PI_2	$\Delta \vec{P} = 0$	PI_1	$\Delta E = 0$

Ilustración 4: Distribución de enunciados de problemas para cada profesor en relación a tipo y tópico.

Ambos enunciados de los problemas de conservación de E (o de conservación de P) constituyen diferentes versiones de enunciados para un mismo problema.

Análisis de los registros

Se realizan tareas de transcripción y análisis de los registros (Ver Ilustración 5). Las acciones realizadas de manera explícita por el entrevistado, ya sean verbales, escritas o gestuales, son clasificadas atendiendo al *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física* propuesto y a los indicadores construidos para tal fin (Ver Tabla 3).

VMS[3]: Un VW Gol circula hacia el Oeste en una recta. Adelanta a un camión y colisiona frontalmente contra una camioneta Ford Ecosport que circulaba recto hacia el Este. Como resultado, el VW sale despedido hacia el Este con una velocidad 10 veces menor que la que tenía antes del choque, y la camioneta Ford sale despedida hacia el Oeste con una velocidad 5 veces menor que la que tenía antes del choque. El conductor del VW Gol declara ante el juez que él circulaba en todo momento a velocidad permitida, pero que la Ford Ecosport circulaba a más velocidad que la permitida, y por eso calculó mal el tiempo disponible y ocurrió el accidente. El juez lo condena por mentir. ¿Cómo pudo averiguarlo?

Transcripción	t[s]	Comentario	Acción	t[s]	clas.
E_02: Porque con esa... con esa uno podría plantear conservación de momento.	329.91 334.358	Completa con la denominación de las masas en la Figura 3. Coloca la dirección de movimiento (4°) Figura 3. Señala el gráfico. Escribe las expresiones de Figura 3.	Señala que con el dato de la masa podría plantear conservación de momento.	329.91 334.358	FC
E_02: no? Si a mi me diesen... si llamo este... m2... la masa del Ecosport y m1 ... la masa del VW Gol	334.913 347.559		Identifica la masa del Ford como m2.	334.913 342.973	FO
E_02: Entonces este... uno dice que hay un momento ...	348.209 354.155		Identifica la masa del VW Gol como m1.	342.973 347.559	FO
E_02: este... nuevamente este es un problema en una sola dimensión entonces puedo considerar nada más que un solo numerito, no hace falta hablar de vectores, con un solo numerito me basta.	355.476 365.203		Identifica el momento con P.	348.209 354.155	FO
E_02: Entonces uno diría que el momento... este... inicial, suponiendo que elijo positivo para este lado... este... sería de la forma... y donde acá yo lo que escribi fueron módulos... Entonces, como este apunta para el otro lado lo voy a poner con un signo negativo, ese es el... momento inicial.	365.533 390.704		Reconoce al problema unidimensional	355.476 360.050	FC
<p>Figura 1</p>	Señala que no hace falta trabajar con vectores.		360.050 365.203	FF	
	Comienza a escribir el momento inicial.		365.533 371.822	FF	
	Elige la dirección positiva.		371.822 375.51	FO	
	Escribe el momento inicial.		375.51 378.83	FF	
	Señala que v1 y v2 son módulos.		378.83 382.788	FF	
	Señala que el cambio de dirección implica un cambio de signo.		382.788 387.773	FO	
	Reconoce la expresión escrita como momento.		387.773 390.704	IF	

S: Modelo de la Simulación FC: Modelo Físico Conceptual FF: Modelo Físico Formalizado FI: modelado físico I: instanciación
FO: modelado formal IF: interpretación

Ilustración 5: Extracto de registro unificado para el análisis de entrevistas

Para poder comparar los resultados obtenidos para las distintas resoluciones, se determina para cada pareja de enunciados (versiones PBD y PI del mismo problema) algunas etapas equivalentes entre ambas. A partir de ello, la lectura del enunciado se considera como punto de inicio del registro. El punto final se toma como aquel estadio mas avanzado de la resolución al cual llegaron ambos resolutores de manera equivalente.

Tabla 3: Notación para las acciones analizadas.

Notación	Acción
L	Lectura
S	Construcción de Modelo de la Situación
FI	Modelado Físico
FC	Construcción de Modelo Físico Conceptual
I	Instanciación
FO	Modelado Formal
FF	Construcción de Modelo Físico Formalizado
IF	Interpretación Física
P	Pausa
NC	No catalogado
E	Entrevistador

Los registros son analizados para determinar: a) cantidad de acciones por tipo; b) tiempo empleado en cada tipo de acción. Las acciones son las propuestas por el *Modelo de Comprensión para la Resolución de Problemas en Física*. Se calcula el porcentaje de tiempo sobre el total empleado en la resolución. Estos tiempos relativos son comparados.

Resultados

Los resultados son presentados en las Tabla 4 y Tabla 5. Los parámetros numéricos analizados son: tiempo total por problema, cantidad total de acciones por problema, tiempo total empleado por tipo de acción, cantidad de acciones por tipo. Se calculan también porcentajes sobre total de tiempo empleado y cantidad total de acciones.

Los datos obtenidos a partir de las entrevistas analizadas no presentan diferencias significativas en cuanto al tiempo total empleado para la resolución de las distintas parejas de problemas. Las diferencias que se presentan pueden ser atribuidas a distintos estilos de los revolvedores (Tabla 4).

Los resultados obtenidos en relación a la medición de tiempos, muestran patrones diferentes en cuanto a la distribución porcentual del tiempo empleado en las distintas acciones catalogadas en los procesos de resolución de los distintos tipos de problemas (Ver Figura 2).

Como era de esperar, las acciones que involucran al *Modelo Físico Conceptual* (MFC) resultaron de las más frecuentemente utilizadas en los dos tipos de problemas. Sin embargo es posible observar un mayor porcentaje de tiempo destinado a trabajar con el MFC para el caso de los PI.

Era de suponer también, que las acciones que involucran al *Modelo de la Situación* (MS) y su conexión con el MFC, *Modelado Físico* (FI) e *Instanciación* (I), tuvieran una presencia escasa o nula para el caso de los problemas PBD. Esto es reflejado por los resultados obtenidos (Tabla 4 y Tabla 5).

Resulta más evidente a partir de la Figura 2, que para el caso de problemas PI las resoluciones presentan acciones más distribuidas temporalmente en torno a todo el proceso de modelado. En cuanto al tiempo empleado en acciones de modelado que articulan el *Modelo Físico Conceptual* (MFC) y el *Modelo Físico Formalizado* (MFF), es decir las acciones de *Modelado Formal* (FO) e *Interpretación Física* (IF) es mayor para el caso de los PBD. Es posible observar

también que el tiempo empleado en acciones que involucran al *Modelo Físico Formalizado* (MFF) (planteo de ecuaciones, manipulación algebraica, etc.) es menor en los PI.

Tabla 4: Tiempo empleado y cantidad de acciones por tipo de acción y por tipo de problema

	PBD_1		PI_1		PDB_2		PI_2	
	Conservación de E				Conservación de P			
	t [s]	Nº acc.	t [s]	Nº acc.	t [s]	Nº acc.	t [s]	Nº acc.
Lectura	37,4	3	11,8	1	43,0	3	58,0	4
Modelo de la Situación	0,0	0	18,4	5	0,0	0	74,7	18
Modelado Físico	12,3	2	68,3	13	0,0	0	20,5	5
Modelo Físico Conceptual	64,0	12	92,0	16	116,9	24	88,1	10
Instanciación	0,0	0	5,6	1	0,0	0	0,0	0
Modelado Formal	92,9	13	34,5	10	55,7	11	50,0	10
Modelo Físico Formalizado	61,9	10	22,9	4	108,4	18	85,9	12
Interpretación Física	30,0	8	25,3	6	68,8	12	37,9	7
Pausa	28,2	14	12,6	15	37,9	27	23,4	23
No catalogado	41,9	10	33,9	6	56,4	15	53,9	9
Entrevistador	26,6	4	10,9	6	33,6	14	15,5	6
Total	395,2	76	336,1	83	520,8	124	507,8	104

Tabla 5: Porcentaje sobre tiempo total empleado y porcentaje sobre cantidad total de acciones según tipo de acción y tipo de problema

	Porcentajes							
	PBD_1		PI_1		PDB_2		PI_2	
	Conservación de E				Conservación de P			
	t	Nº acc.	t	Nº acc.	t	Nº acc.	t	Nº acc.
Lectura	9,5	3,9	3,5	1,2	8,3	2,4	11,4	3,8
Modelo de la Situación	0,0	0,0	5,5	6,0	0,0	0,0	14,7	17,3
Modelado Físico	3,1	2,6	20,3	15,7	0,0	0,0	4,0	4,8
Modelo Físico Conceptual	16,2	15,8	27,4	19,3	22,5	19,4	17,4	9,6
Instanciación	0,0	0,0	1,7	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
Modelado Formal	23,5	17,1	10,3	12,0	10,7	8,9	9,8	9,6
Modelo Físico Formalizado	15,7	13,2	6,8	4,8	20,8	14,5	16,9	11,5
Interpretación Física	7,6	10,5	7,5	7,2	13,2	9,7	7,5	6,7
Pausa	7,1	18,4	3,7	18,1	7,3	21,8	4,6	22,1
No catalogado	10,6	13,2	10,1	7,2	10,8	12,1	10,6	8,7
Entrevistador	6,7	5,3	3,2	7,2	6,5	11,3	3,1	5,8
Total	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Con respecto a la cantidad de acciones realizadas, es necesario resaltar algunas cuestiones que surgen a partir de examinar tanto la Tabla 4 como la Figura 3. De acuerdo a las acciones seleccionadas para contabilizar (Tabla 3) resulta necesario destacar que estas acciones no pueden ser consideradas a un mismo nivel. Casos representativos, por la claridad de los mismos, son las acciones *Lectura* y *Pausa*. La acción de lectura del enunciado es realizada, según el resolutor, en varias etapas o en una sola, con mayor o menor detalle, con consultas posteriores al enunciado una vez comenzada la resolución o no. En todos estos casos, es indudable el compromiso y la atención puesta por el sujeto en esta tarea. En el otro extremo, estarían todas las situaciones de pausa en la resolución, que en general son numerosas y, en las entrevistas analizadas, de escasa duración.

Además, las situaciones de pausa no permiten distinguir en qué tipo de actividad se encuentra involucrado el resolutor.

Las entrevistas analizadas muestran procesos complejos de construcción de las distintas representaciones. Sin embargo es posible detectar, independientemente del resolutor, la existencia de una direccionalidad definida de construcción. Existe un sentido de avance en la construcción: desde el Modelo de la Situación, hacia el Modelo Físico Conceptual y hasta el Modelo Físico Formalizado. Es posible detectar en las entrevistas que este avance no es lineal, sino espiralado, en el cual las distintas representaciones se van realimentando entre si.

Los eventos, en los cuales el resolutor completa alguno de los modelos propuestos, son determinados en la entrevista y su tiempo de ocurrencia es obtenido (Tabla 6). Es posible presentar estos datos en gráficos agrupados de distinta manera, con el objetivo de facilitar el análisis de resultados.

Tabla 6: Tiempo y porcentaje sobre tiempo total para la construcción de las distintas representaciones por problema.

	PBD_1		PI_1		PBD_2		PI_2	
	t [s]	%	t [s]	%	t [s]	%	t [s]	%
Hasta completar MS	0	0,0	35	10,4	0	0,0	152	29,9
Hasta completar MFC	119	30,1	219	65,2	161	30,9	334	65,7
Hasta completar MFF	373	94,2	293	87,2	401	77,0	450	88,6
Resolución completa	395	100,0	336	100,0	521	100,0	508	100,0

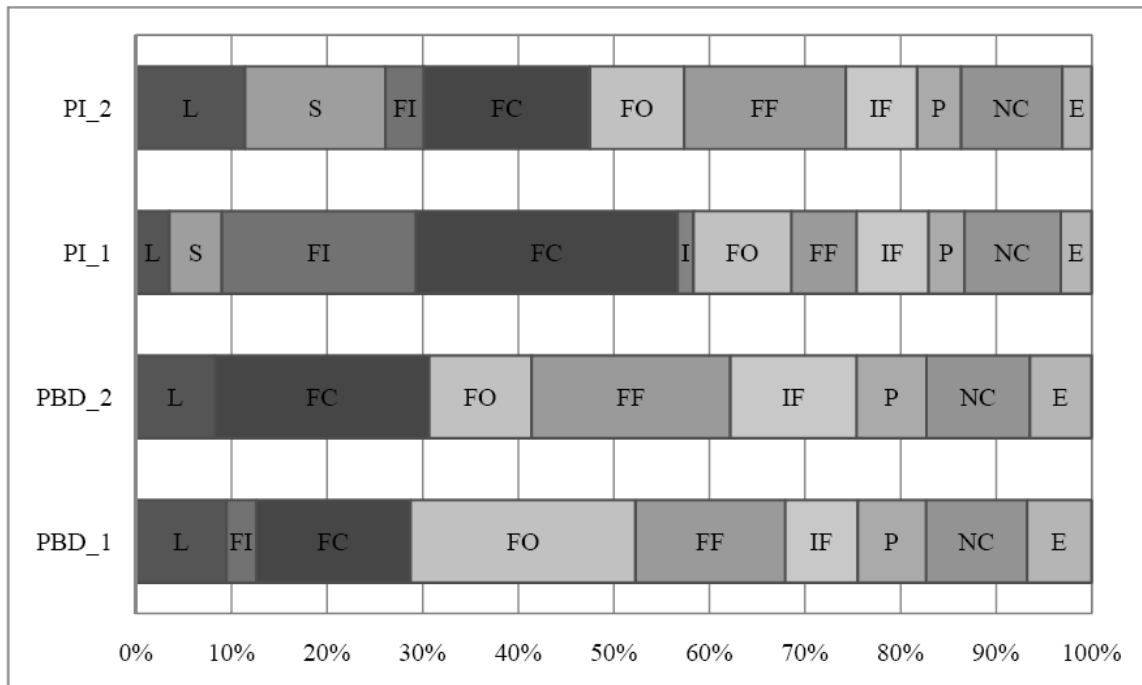


Figura 2: Porcentaje de tiempos empleados sobre tiempo total de resolución.

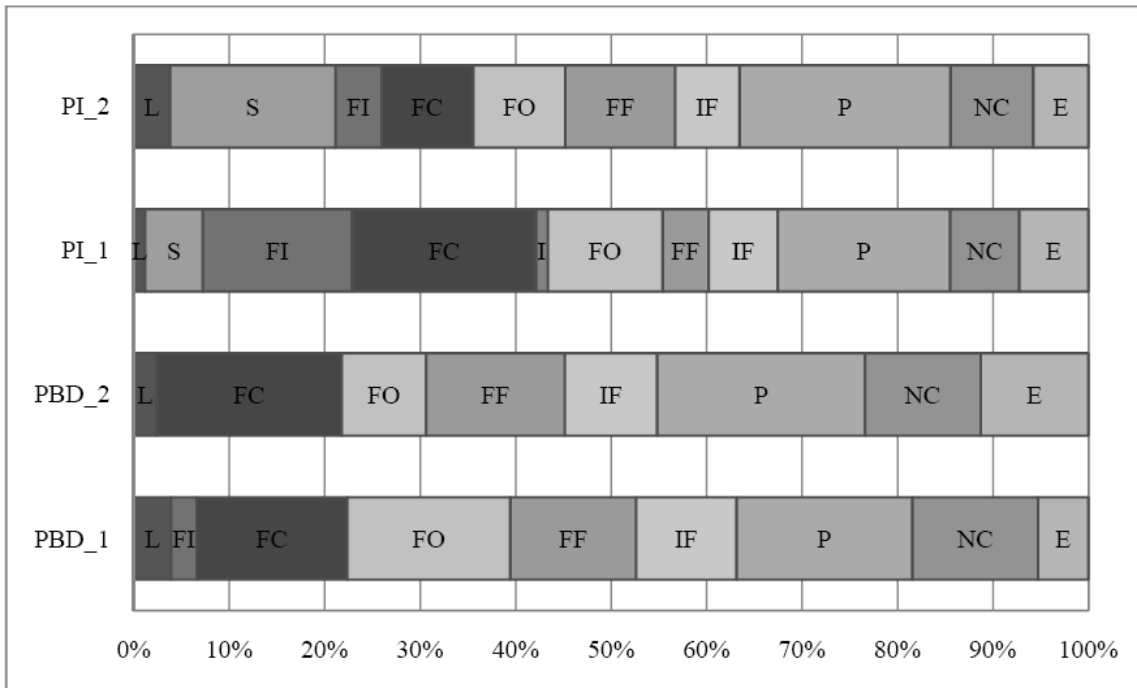


Figura 3: Porcentaje de acciones realizadas sobre total de acciones.

Es posible observar en la Figura 4 que los patrones de resolución de ambos profesores son muy parecidos. En ambos casos y para cada tipo de problema, es posible identificar las mismas representaciones construidas y con porcentajes de tiempo empleado similares.

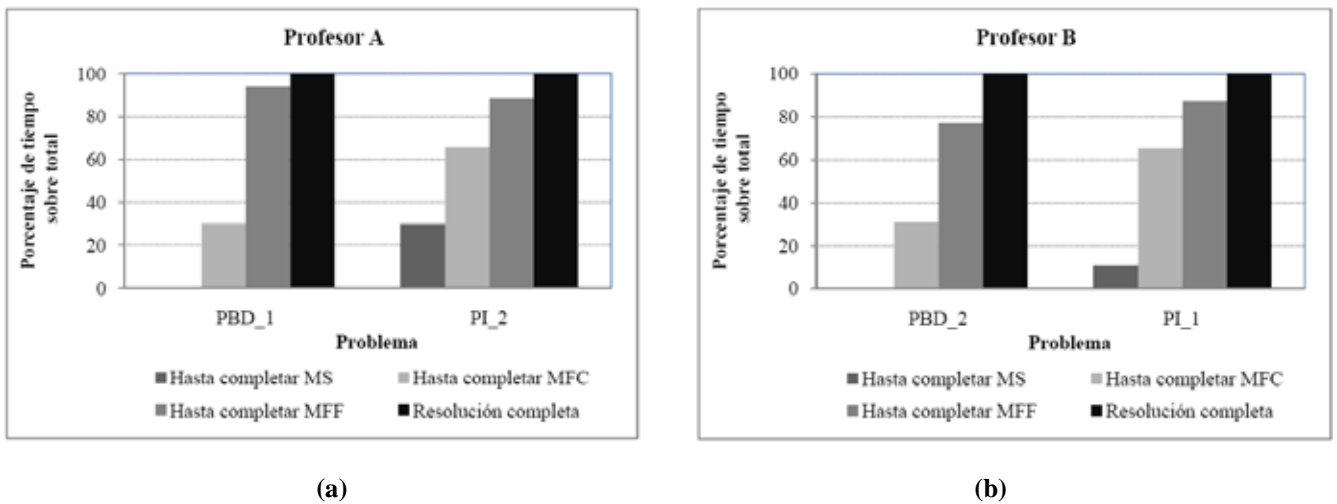
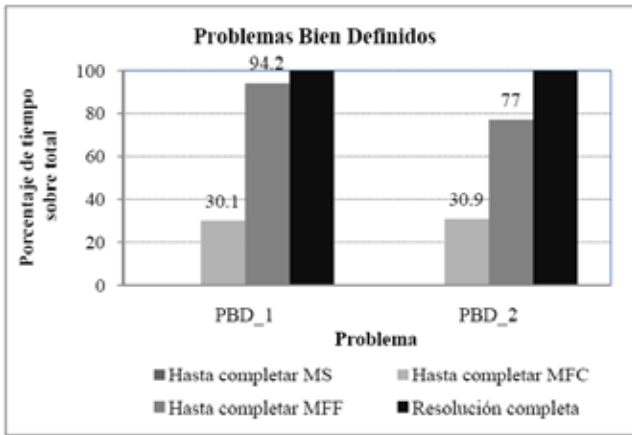
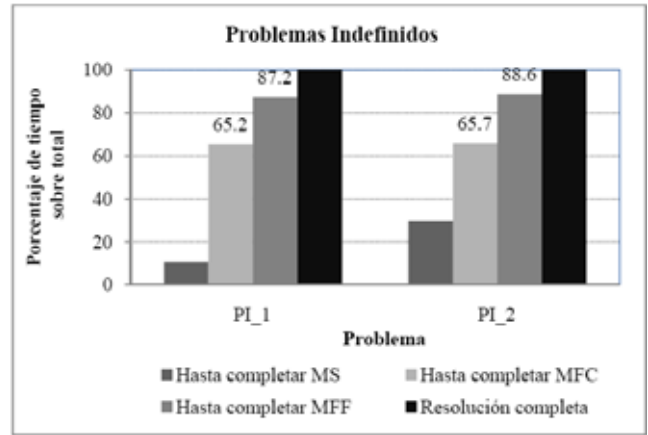


Figura 4: Comparación de la construcción de representaciones entre profesores. Tiempo.

Es para destacar que en el caso de los problemas del tipo PBD, no se evidencia tiempo destinado a la construcción del Modelo de la Situación, en ninguno de los dos casos (Figura 5). Por otro lado el porcentaje de tiempo invertido por los resolvedores en construir completo el Modelo Físico Conceptual es mayor en el caso de los problemas PI. La Figura 6 muestra que esta diferencia no se debe solo al tiempo extra empleado, en los PI con respecto a los PDB, en construir previamente el Modelo de la Situación.

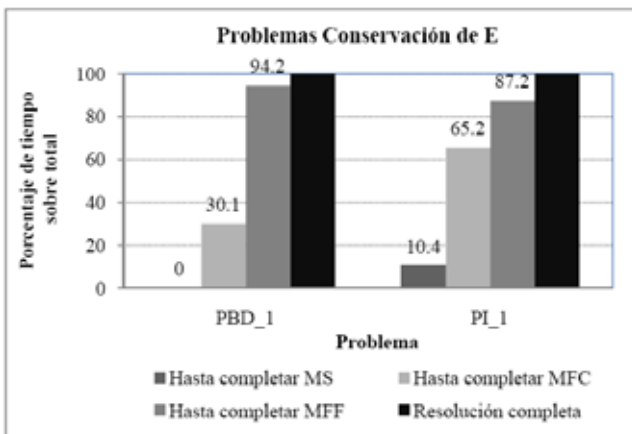


(a)

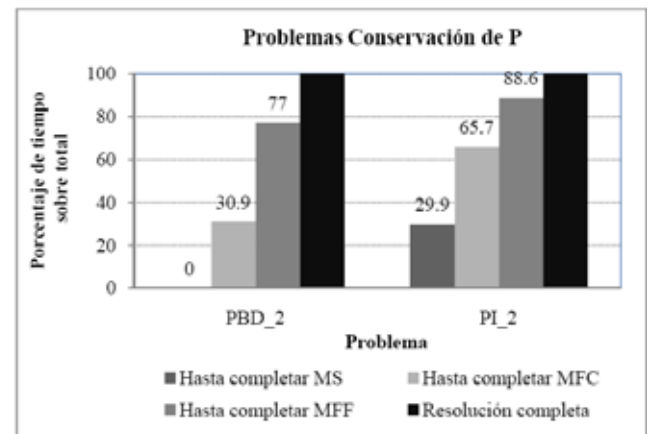


(b)

Figura 5: Comparación de la construcción de representaciones entre tipos de problemas. Tiempo.

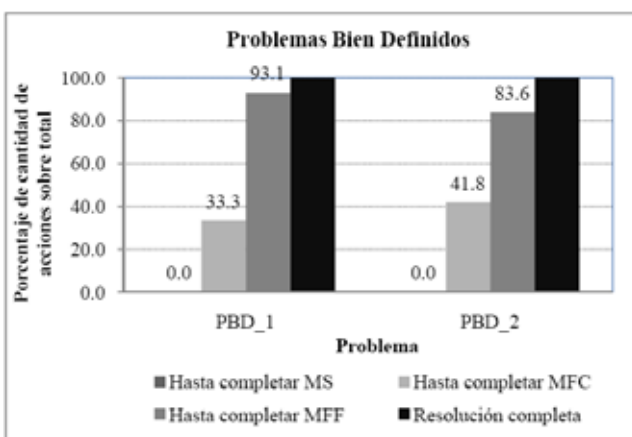


(a)

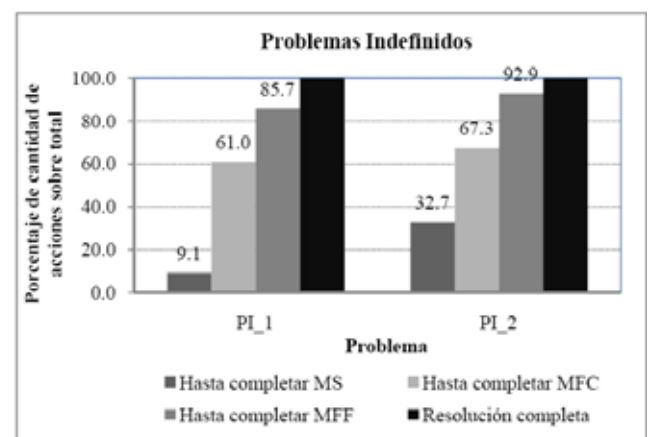


(b)

Figura 6: Comparación de la construcción de representaciones entre tópicos de problemas. Tiempo.



(a)



(b)

Figura 7: Comparación de la construcción de representaciones entre tipos de problemas. Cantidad de acciones.

La Figura 7 muestra los resultados obtenidos para cantidad de acciones efectuadas. Estas gráficas muestran una apreciable diferencia entre las cantidades de acciones efectuadas hasta construir completo el *Modelo Físico Conceptual* para el caso de *problemas bien definidos* y para el caso de *problemas indefinidos*. Para el caso de los *problemas indefinidos*, esta cantidad de acciones es mayor.

Análisis y conclusiones

Los resultados obtenidos apoyan las hipótesis de este trabajo. El tipo de problema juega un papel importante en el tipo de resolución que plantean los sujetos. La resolución de *problemas indefinidos* involucra un conjunto mayor de habilidades que, desarrolladas y puestas en juego, permiten a los sujetos modelar la situación planteada a distintos niveles.

En los *problemas indefinidos* el foco de la resolución parece estar centrado en la construcción del *Modelo Físico Conceptual* y no en la construcción del *Modelo Físico Formalizado*. Esto es, la elección del modelo físico que describe y permite resolver el problema se convierte en una tarea central en la resolución, pasando la formalización y el cálculo de resultados propiamente dichos a un segundo plano. Estos resultados son acordes a los obtenidos en estudios previos (Gil Pérez & Martínez Torregrosa, 1983, Fortus, 2009)

No se encuentran diferencias en los tiempos empleados en la resolución de *problemas indefinidos* y *problemas bien definidos*. Sin embargo, debido a que en los *problemas indefinidos* ninguno de los resolutores concluyó el problema obteniendo un resultado numérico, es de suponer que si lo hubieran hecho, el tiempo empleado en resolver los *problemas indefinidos* hubiera sido mayor que el tiempo empleado para los *problemas bien definidos*.

Es para destacar que, a pesar de ser los casos analizados en este trabajo correspondientes a físicos con amplia experiencia docente y profesional, los sujetos se muestran sensibles a los diferentes tipos de enunciados. Sin dudas es posible suponer que en su calidad de “expertos” han enfrentado *problemas indefinidos*, ya sea en su experiencia como resolutores de problemas o en su desempeño profesional. Sin embargo no resulta posible distinguir a cuál de las tantas características de su experticia se le puede atribuir la habilidad de resolver con éxito este tipo de problemas. Lo que sin dudas queda evidenciado en los casos analizados es que la forma de resolver un *problema indefinido* es significativamente distinta a la de resolver un *problema bien definido*.

Según Kohl & Finkelstein (2008) y Fortus (2009), depende de la competencia de quien resuelve detenerse, avanzar o retroceder más en unos estadios del proceso de resolución que en otros. Así, se concibe entonces que la comprensión y modelado de un problema instruccional de física implica la construcción integrada y consistente de las representaciones. A pesar de que el presente trabajo es un estudio de casos y que los resultados no pueden ser de ningún modo generalizables, se considera factible la selección de enunciados de problemas como herramienta para orientar distintos procesos cognitivos. Estos distintos tipos de enunciados de problemas poseen características que generen procesos de resolución en los cuales sea necesario construir y coordinar determinadas representaciones de la situación problemática.

La información obtenida de las entrevistas analizadas permite señalar que los *problemas bien definidos* generan procesos de resolución centrados principalmente en la construcción del *Modelo Físico Conceptual*, el *Modelo Físico Formalizado* y, en consecuencia, aquellas habilidades de modelado necesarias para articular estas representaciones. Por su parte, los *problemas indefinidos* desencadenan procesos de resolución en los cuales interviene la construcción de todos los tipos de representaciones previstos por el modelo y de todas las correspondientes habilidades de modelado necesarias.

A la luz de lo observado, resulta plausible “manipular” los enunciados en relación a los procesos cognitivos sobre los cuales interesa poner el foco. De esta manera se podría resignificar la instrucción en resolución de problemas atendiendo los conocimientos y características de la estructura cognitiva de quien aprende.

Los resultados indican que los problemas enunciados en términos de objetos e interacciones ya modeladas, favorecen procesos de resolución que involucran habilidades de formalización matemática y cálculo. En este tipo de procesos de resolución se supone que el modelo científico que describe y permite resolver el problema se maneja con sus alcances y limitaciones. El foco de la tarea en este tipo de problemas es formalizar las leyes que gobiernan dicho modelo. En general, los modelos matemáticos utilizados para representar fenómenos en física básica son relativamente sencillos, por ello es probable que los fallos tradicionalmente atribuidos a fallas matemáticas respondan a la utilización acrítica de fórmulas sin el contenido conceptual que ellas incorporan al pertenecer a un modelo de un sistema físico (Truyol, 2006). Esto es, el problema está en la semántica y no en la sintaxis matemática.

Por otra parte, los problemas enunciados a partir de objetos y eventos del mundo, esto es en términos concretos, presenta al resolvidor la oportunidad de seleccionar aquellos elementos que le permitan modelar la situación. En este proceso, el resolvidor deberá enfrentarse a la tarea de cuestionar y determinar el modelo científico, con sus alcances y limitaciones, que mejor le permita responder la demanda del problema. Esto sin dudas favorece una comprensión conceptual profunda y el desarrollo de una de las habilidades más requeridas en el ámbito de las ciencias: la habilidad de modelado.

Todos estos resultados se encuentran en consonancia con los obtenidos por otros autores (Gil Pérez & Martínez Torregrosa, 1983, Tuyol, 2006, Fortus, 2009). Sin embargo, se considera que este trabajo puede aportar algunos elementos que sirvan de guía para una selección apropiada de enunciados de problemas como herramienta para el desarrollo de habilidades cognitivas.

A modo de síntesis, podemos expresar que la comprensión y modelado de un problema instruccional de física implica la construcción integrada y consistente de las representaciones. Este proceso requiere de la puesta en juego de habilidades específicas que pueden y deben ser favorecidas en la instrucción. El tipo de objetos involucrados en la situación que narra el enunciado del problema y la pregunta que es posible plantear en términos de estos objetos, orientan fuertemente los objetivos del resolvidor. Estos objetivos son los que, finalmente, guían al sujeto en la toma de decisiones. Es por esto que los enunciados de problemas resultan herramientas promisorias a la hora de orientar determinados procesos cognitivos en los estudiantes.

Agradecimientos

Agradecemos los valiosos aportes realizados por el Dr. Vicente Sanjosé López de la Universidad de Valencia, España, para la realización de este trabajo dentro del marco de una tesis doctoral realizada por la primera autora, dirigida por la Dra. Gangoso y codirigida por el Dr. Sanjosé.

Referencias

Antonenko, P. D.; Jackman, J.; Kumsaikaew, P.; Marathe, R. R.; Niederhauser, D. S. & Ogilvie, C. A. (2007). Understanding Student Pathways in Context-rich Problems. physics/0701284. Recuperado Mayo 11, 2009, a partir de <http://arxiv.org/abs/physics/0701284>.

- Brookes, D. & Etkina, E. (2007) "Using conceptual metaphor and functional grammar to explore how language used in physics affects student learning" *Phys. Rev. ST Phys. Educ. Res.* 3, 010105.
- Bunge, M. (1982) *Filosofía de la Física*. Ariel. Barcelona.
- Escudero, C. & Moreira, M.A. (1999). La V epistemológica aplicada a algunos enfoques en resolución de problemas. *Enseñanza de las Ciencias*, 17 (1), 61-68.
- Etkina, E.; Van Heuvelen, A.; White-Brahmia, S.; Brookes, D.; Gentile, M.; Murthy, S.; Rosengrant, D. & Warren, A. (2006). Scientific abilities and their assessment. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*, 2, 020103_2006_
- Etkina, E.; Warren, A. & Gentile, M. (2005). The role of models in physics instruction. *The Physics Teacher*. 43, 15-20
- Fortus, D. (2005). Restructuring school Physics around Real-world Problems: a cognitive justification. En Annual meeting of the American Educational Research Association. Montreal, Canada. Recuperado Abril 16, 2009, a partir de http://www.sciencematerialscenter.org/documents/Restructuring_School_Physics.pdf.
- Fortus, D. (2009). The importance of learning to make assumptions. *Science Education*, 93 (1), 86-108.
- Gaigher, E.; Rogan, J.M. & Braun, M.W.H. (2007). Exploring the development of conceptual understanding through structured problem solving in Physics. *International Journal of Science Education*. Vol 29, Nº 9, 1089-1110.
- Gangoso, Z.; Coleoni E.; Buteler L. & Gattoni A. (2004). "El proceso de resolución de problemas en física" *Actas II Jornadas de Investigación en Resolución de Problemas en Física*. Jesús María, Córdoba.
- Gangoso, Z.; Truyol, M.E.; Gattoni, A. & Brincones Calvo, I. (2008). Resolución de problemas, comprensión, modelización y desempeño: un caso con estudiantes de ingeniería. *Latin American Journal of Physics Education* . (2)3, 233-240.
- Gerace, W; Dufresne, R & Leonard, B. (1997). A framework for the storage of knowledge and its implication for problem solving. University of Massachusetts Physics Education Research Group. Technical Report PERG-1997
- Gil Pérez, D.; Martínez Torregrosa, J. (1983). A model for problem solving in accordance with scientific methodology. *European Journal of Science Education*, 5(4), 447-455.
- Gilbert, J.; Boulter, C. & Rutherford, M.; (1998 a). "Models in explanations, Part 1: Horses for courses". *International Journal of Science Education*, Vol 20, Nº 1, 83-97.
- Gilbert, J.; Boulter, C. & Rutherford, M.; (1998 b). "Models in explanations, Part 2: Whose voice? Whose ears?". *International Journal of Science Education*, Vol 20, Nº 2, 187-203.
- Gilbert, J.; Reiner, M. & Nakhleh, M. (2008) "Visualization: Theory and Practice in Science Education (Models and Modeling in Science Education)". Springer.
- Graesser, A.; Singer, M. & Trabasso, T. (1994). Constructing inferences during narrative text comprehension. *Psychological Review*, 101 (3), 371-395.
- Greeno, J.S. (1976) Indefinite goals in well-structured problems. *Psychological Review*, 83 (6), 479-491.
- Greeno, J. S. (1989). Situation, mental models and generative knowledge. En *Complex Information Processing: The impact of Herbert A. Simon*. Klar, D. Y Kotovsky, K. (Eds). Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. Hillsdale, New Jersey.

- Heller, P. & Hollabaugh, M. (1992), "Teaching Problem Solving Through Cooperative Grouping. Part 2: Designing Problems and Structuring Groups," *American Journal of Physics*, Vol. 60, No. 7, pp. 637-644.
- Hong, N. S.; McGee, S. & Howard, B. C. (2001). Essential Components for Solving Various Problems in Multimedia Learning Environments. Recuperado Mayo 11, 2009, a partir de <http://www.eric.ed.gov/ERICWebPortal/contentdelivery/servlet/ERICServlet?accno=ED471078>.
- Jonassen, D. & Hung, W. (2008). All Problems are not Equal: Implications for Problem-Based Learning. *The Interdisciplinary Journal of Problem-based Learning*, 2 (2), 6-28.
- Kintsch, W. (1998) *Comprehension: a paradigm for cognition*. Cambridge University press, UK.
- Kohl, P. & Finkelstein, N. (2006) Effect of instructional environment on physics students' representational skills. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*. 2, 010102 (2006).
- Kohl, P. & Finkelstein, N. (2008) Patterns of multiple representations use by experts and novices during physics problema solving. *Physical Review Special Topics – Physics Education Research*. 4, 010111 (2008).
- Kook, H.J. & Novak, G. (1991) Representation of models for expert problem solving in physics. *IEEE Transactions on knowledge and data engineering*, 12 (1), 48-54.
- Larkin, J. (1989). *Display-Based Problem Solving*. En Klahr, D. Y Kotovsky, K. *Complex Information Processing – The impact of Herber A. Simon*. Lawrence Erlbaum Associates, Publishers. Hillsdale, New Jersey.
- Larking, J.; Mc Dermott; L. & Simon, H. (1980). Expert and novice performance in solving physics problems. *Science*. Vol. 208, 20 June 1980.
- Lemeignan, G. & Weil-Barais, A. (1994). A developmental approach to cognitive change in mechanics. *International Journal of Science Education*, 16 (1), 99-120.
- Lemke, J. (2004) Teaching all the languages of science: words, symbols and actions. Conferencia – Barcelona. Consulta online, septiembre del 2007. URL: <http://www-personal.umich.edu/~jaylemke/papers/barcelon.htm>
- Leonard, W.; Dufresne, R. & Mestre, J. (1996). Using qualitative problem-solving strategies to highlight the role of conceptual knowledge in solving problems. *American Journal of Physics*. 64 (12).
- Lopes, J. B. & Costa, N. (2007). The Evaluation of Modelling Competences: Difficulties and Potentials for the Learning of the Sciences. *International Journal of Science Education*, 29(7), 811-851.
- Nathan, M.; Kintsch, W. & Young, E. (1992). A theory of Algebra-Word-Problem comprehension and its implication for the design or learning environments. *Cognition and Instruction*, 9 [4], 329-389.
- Novak, G. S. (1982). *Model Formulation for Physics Problem Solving*. Draft. Recuperado Febrero 25, 2009, a partir de <http://www.eric.ed.gov/ERICWebPortal/contentdelivery/servlet/ERICServlet?accno=ED232859>.
- Ogilvie, C. A. (2008). Impact of Context-Rich, Multifaceted Problems on Students' Attitudes Towards Problem-Solving. 0809.1081. Recuperado Mayo 11, 2009, a partir de <http://arxiv.org/abs/0809.1081>.
- Perales Palacios, F.J. (1993). La resolución de problemas: una revisión estructurada. *Enseñanza de las Ciencias*, 11 (2), 170-178.

- Reid, N. & Yang, M. (2002). The Solving of Problems in Chemistry: the more open-ended problems. *Research in Science & Technological Education*, 20 (1), 83-98.
- Reingenberg, M. & VanLehn, K. (2008). Does solving ill-defined physics problems elicit more learning than conventional problem solving? En B. P. Woolf, E. Aimeur, R. Nkambou & S. Lajoie (Eds) *Doctoral Consortium, Intelligent Tutoring Systems: 9th International Conference*. http://www.pitt.edu/~vanlehn/Stringent/PDF/08ITSMR_KVL.pdf
- Roschelle, J. & Greeno, J. G. (1987). *Mental Models in Expert Physics Reasoning*. ERIC #285736.
- Sabella, M. (1999). *Using the Context of Physics Problem Solving to Evaluate the Coherence of Student Knowledge*. Chapter 3. UMD PERG PhD Dissertations. University of Maryland Physics Education Research Group. Recuperado Mayo 6, 2009, a partir de <http://www.physics.umd.edu/perg/dissertations/Sabella/Chapter3.pdf>
- Schraw, G.; Dunkle, M. & Bendixen, L. (1995) *Cognitive Processes in Well-Defined and Ill-Defined Problem Solving*. *Applied Cognitive Psychology*. Vol 9, 523-538.
- Sensevy, G.; Tiberghien, A.; Santini, J.; Laubé, S. & Griggs, P. (2008) *An epistemological approach to modeling: cases studies and implications for science teaching*. *Science Education*. Vol 92 N°3. Mayo del 2008
- Simon, H.A. (1973). The structure of ill-structured problems. *Artificial Intelligence*, 4, 181-202.
- Truyol, M.E. & Gangoso, Z. (2009). *Resolución de Problemas y Representaciones: un estudio sobre indicadores*. Comunicación interna. <http://www.famaf.unc.edu.ar/~scout/gef/publicaciones/un%20estudio%20sobre%20indicadores.pdf>
- Truyol, M.E. (2006). “Resolución de Problemas en Física Básica: algunos factores explicativos de desempeño”. Trabajo Especial de Licenciatura en Física. FaMAF – UNC. T.E.F TRUr – Inventario n° 18198 – Biblioteca FaMAF.
- Truyol, M.E.; Brincones Calvo, I.; Gangoso, Z. & Gattoni, A. (2008). *Modelado de situaciones físicas, instrucción y desempeño: un caso con estudiantes de ingeniería*. V Congreso Internacional de Didáctica de las Ciencias - X Taller Internacional sobre la Enseñanza de la Física. La Habana, Cuba. Publicación en CD ISBN 978-959-18-0349-8. Disponible en <http://www.famaf.unc.edu.ar/~scout/gef/publicaciones/FIS-27.pdf>
- Van Dijk, T. & Kintsch, W. (1983). *Strategies of discourse comprehension*. New York. Academic Press.
- Vazgen, S. & Etkina, E. (2007). *Introducing ill-structured problems in introductory physics recitations*. En PERC 2007 Proceedings. Recuperado Mayo 8, 2009, a partir de <http://paer.rutgers.edu/ScientificAbilities/Downloads/Papers/VazgenPERC2007Submitted2.pdf>.
- Williams, T. (1999) *Semantics in teaching introductory physics*. *American Journal of Physics*. 67 (8).

Recebido em: 10.06.2010

Aceito em: 15.03.2011