

# MODELOS EXPLICATIVOS QUE ESTRUCTURAN LAS IDEAS DE LOS ESTUDIANTES EN FÍSICA: APORTES, RESULTADOS E INTERPRETACIONES PARA EL APRENDIZAJE DEL EMPUJE

Estela Alurralde y Julia Salinas  
Facultad de Ciencias Exactas UNSa  
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología UNT  
[éalurral@unsa.edu.ar](mailto:éalurral@unsa.edu.ar) – [jsalinas@herrera.unt.edu.ar](mailto:jsalinas@herrera.unt.edu.ar)

## Introducción

Hay actualmente una creciente producción en relación con la estructuración de las ideas de los estudiantes sobre los fenómenos naturales que estudia la Física, a través de propuestas e interpretaciones basadas en diferentes teorías sobre modelos sustentados por los alumnos. En el relevamiento bibliográfico realizado durante esta investigación se encontró un creciente número de publicaciones relacionadas con el problema de “los modelos” y “el modelado”. Debe tenerse en cuenta que estos términos aparecen en una amplia gama de acepciones, como claramente plantean Krapas et al. (1997).

Desde el punto de vista de la Epistemología de la Física se caracteriza detalladamente el rol de los modelos y el proceso de modelado en la tarea científica. Distintos autores (Bunge, 1985; Estany, 1993; Lombardi, 1998; Cudmani et al., 2000) sostienen que el proceso de modelado se caracteriza por el recorte y la simplificación del sistema bajo estudio: Ciertos factores que intervienen se consideran irrelevantes a la luz de las hipótesis de partida de la teoría, o de incidencia despreciable frente a la de otros factores que intervienen.

Según la perspectiva de Bunge (1985), la construcción de una teoría se hace a partir de la construcción de modelos (sistemas conceptuales que representan con cierta aproximación algunos aspectos y relaciones de los objetos reales). Son idealizaciones que conservan los aspectos considerados relevantes en el sistema real al que se refieren, que no son todos los que intervienen. Las teorías incluyen modelos y los modelos representan los correlatos de las teorías. La teoría se refiere a un sistema, y el modelo lo representa. Dos teorías pueden usar diferentes modelos, o pueden usar el mismo modelo tratándolo de distinta manera. Los sistemas reales pueden comportarse de manera muy diferente de la que prescriben los modelos teóricos. En la práctica científica moderna se halla implícito el supuesto de que los fenómenos naturales están regidos por leyes basadas en modelos, pero que en el mundo natural esos fenómenos se yuxtaponen de maneras complejas (Chalmers, 1992). Los modelos son indispensables en la identificación de los aspectos relevantes, para la contrastación empírica de las leyes y para comprender la potencia explicativa de la teoría.

Lombardi (1998), por su parte, insiste en que, en ciencias fácticas, se trabaja con sistemas simplificados e idealizados (que suelen denominarse “modelos” del sistema real), que son entidades abstractas en las cuales se consideran como variables sólo los factores relevantes o se

suponen ciertas características de entidades inobservables que componen el sistema. Destaca que una teoría científica tiene como referente directo a un modelo del sistema cuyo comportamiento pretende describir, y no al sistema mismo.

Desde el campo de la investigación educativa en ciencias y desde la psicología cognitiva se han hecho distintos aportes para "modelar" los razonamientos de los estudiantes y sobre el rol de las concepciones en esos razonamientos. Desde diferentes perspectivas teóricas surge la idea del "modelo" como construcción personal del sujeto. Cabe citar varios autores:

Moreira (1997), basándose en la teoría de los modelos mentales de Johnson-Laird (1983), sostiene que en su razonamiento los sujetos usan "bloques cognitivos" (modelos mentales, análogos estructurales del mundo, que se construyen, reconstruyen y combinan).

Pozo (1994), apoyándose en Holland et al. (1986), sugiere que el sistema de representación se basa en unidades significativas de carácter molar (los modelos mentales), compuestas por sistemas de producción (conjunto de reglas relacionadas) que se activan simultáneamente ante la presencia de un "mensaje" (estímulo) formando categorías organizadas.

Gutiérrez (1996) utiliza los modelos mentales mecánicos de de Kleer y Brown (1983), contruidos por un sujeto que observa y quiere explicar el funcionamiento y evolución de un sistema físico dinámico.

Flores Camacho et al. (1998), basándose en los trabajos de Sneed (1986) y Stegmüller (1986) sobre la dinámica estructural de las teorías científicas, proponen *modelos parciales posibles*, compuestos por conceptos constrictores (proposiciones que corresponden a conocimiento elaborado como representaciones abstractas) y reglas de correspondencia (construcciones conceptuales en las que se establecen relaciones explícitas entre variables fenomenológicas o se especifican condiciones particulares atribuidas al proceso físico).

Mortimer (1995) se apoya en el modelo del perfil epistemológico de Bachelard (1973) y propone la noción de "perfil conceptual", en la búsqueda de un modelo que explique los cambios en el pensamiento individual como resultado del aprendizaje. Cada zona sucesiva del perfil conceptual se caracteriza por tener categorías con mayor poder explicativo que su antecedente, pero presenta dos elementos que la distinguen del perfil epistemológico: La distinción entre rasgos epistemológicos y rasgos ontológicos propios de cada concepto, y el hecho de que los niveles no científicos no están restringidos a escuelas filosóficas, sino a compromisos epistemológicos y ontológicos del individuo.

Viennot (1998) realiza un análisis de la importancia del rol de las preguntas en las investigaciones en Educación en Ciencias. Advierte que en el análisis de un elemento de respuesta a partir de diferentes preguntas, el porcentaje de ocurrencia es diferente: Distintas preguntas pueden provocar respuestas de diferente nivel (según se activen en el estudiante razonamientos más vinculados a una determinada área del conocimiento científico o a su experiencia cotidiana). Esta dependencia entre un elemento de la respuesta de un estudiante y el

tipo de pregunta que la provoca, indica que para representar la comprensión de los estudiantes en un área conceptual deben considerarse cuidadosamente ambos componentes.

### **Marco teórico adoptado e hipótesis de trabajo**

Esta investigación se enmarca en la línea relacionada con la identificación y caracterización de “modelos explicativos” elaborados por los estudiantes. Se entiende que el modelo explicativo construido por un estudiante sobre un sistema físico particular podría ser una clave para la comprensión del modo en que hace uso de distintos razonamientos y concepciones alternativas en distintas situaciones. La identificación y caracterización de estos modelos explicativos podría ayudar a entender por qué los estudiantes en algunos contextos parecen adoptar ideas más cercanas a las aceptadas científicamente y, casi simultáneamente, en otros contextos recurren a concepciones incompatibles con las aceptadas científicamente.

El marco teórico adoptado supone que los estudiantes emplean concepciones propias sobre los sucesos y procesos físicos como base para la interpretación del comportamiento de los fenómenos físicos que enfrentan y las usan para hacer inferencias, enfocando lo que ellos perciben como factores importantes. Esas concepciones propias, entre las cuales es posible identificar tanto ideas científicas como no científicas, son consideradas verdaderas por los estudiantes y son aceptadas por ellos como suposiciones básicas válidas. Sobre esa base construyen modelos que tienen una función explicativa y están organizados como estructuras implícitas de conceptos, pues en su construcción el estudiante, al seleccionar ciertas variables e ignorar otras, no siempre actúa con intencionalidad. Supusimos que, así como los conceptos propios de los estudiantes son compartidos por grupos de diferentes características (Driver, 1986; Pintó et al., 1996; Prieto Ruz et al., 1997), era de esperar que los estudiantes elaboren modelos explicativos distintos al tratar un dado sistema físico, pero que haya grupos de estudiantes que compartan un mismo modelo explicativo. También conjeturamos que en la estructura cognitiva de los estudiantes pueden coexistir modelos diferentes, que se ponen en juego como respuesta a diferentes contextos del problema. En la construcción de sus modelos, un estudiante recorta y simplifica el sistema, pero puede elaborar implícitamente varios modelos explicativos para un determinado sistema físico y puede utilizar diferentes modelos explicativos implícitos para tratar un mismo sistema físico, según cómo lo enfoque. Así como distintas preguntas pueden provocar respuestas de diferente nivel (Viennot, 1998), se estimó que el planteo de situaciones con características diferentes, aun cuando correspondan a situaciones físicamente equivalentes, puede generar explicaciones diferentes en un mismo estudiante, según active modelos más cercanos a los científicos o a su experiencia cotidiana.

Resultan así las siguientes Hipótesis de trabajo:

**Hipótesis 1 (H1):** Enfrentados a situaciones problemáticas con cuerpos sumergidos en líquidos, los estudiantes recurren a modelos explicativos vinculados al empuje.

**Hipótesis 2 (H2):** Hay grupos de estudiantes que comparten el mismo modelo explicativo.

**Hipótesis 3 (H3):** Hay estudiantes que activan selectivamente modelos explicativos diferentes, según la situación problemática enfrentada.

### **Metodología utilizada**

Se propuso como metodología de trabajo una “indagación exploratoria en espiral” previa a otra etapa de “control de hipótesis”.

Durante la indagación exploratoria en espiral, las respuestas de los estudiantes a preguntas sobre temas vinculados al empuje fueron ordenadas, definiendo y codificando “categorías de respuestas” basadas en alguna característica considerada relevante por los estudiantes. Por ejemplo, “*El empuje depende de la cantidad de líquido en el recipiente*” fue codificada como categoría C5. A posteriori, se llevó a cabo el análisis de la forma en que cada estudiante usaba las diferentes categorías, detectándose “agrupamientos de categorías” (configuraciones características). Por ejemplo, ciertos estudiantes sólo utilizaban las categorías codificadas con A1: “*El empuje depende del volumen de líquido desalojado*” y C3: “*El empuje depende de la densidad del líquido*”. Estos agrupamientos se consideraban posibles indicadores de “modelos explicativos” coherentes con las explicaciones de los estudiantes.

En la etapa de control de hipótesis se puso a prueba el uso por parte de los estudiantes de los modelos explicativos detectados en la etapa exploratoria en espiral, el grado en que esos modelos son compartidos por los estudiantes y la medida en que el empleo de estos modelos depende de la situación problemática enfrentada.

En Alurralde et al. (2006) se presenta detalladamente la metodología utilizada en esta investigación. En total se aplicaron 4 cuestionarios a 383 estudiantes (N1 = 103, N2 = 80, N3 = 103, N4 = 97) y se realizaron siete entrevistas semi-estructuradas que incluían situaciones experimentales.

### **Resultados**

El relevamiento de las respuestas mostró que los estudiantes utilizan agrupamientos de categorías a las que cabe interpretar como indicadores del uso de diferentes modelos explicativos (científico y no científicos) para enfrentar situaciones vinculadas al empuje. La tabla 1 presenta los Modelos Explicativos propuestos como interpretación de las respuestas de los estudiantes.

Modelo Científico	Las variables relevantes en relación con el empuje son coherentes con el modelo científicamente aceptado
Modelo 1	Las variables relevantes en relación con el empuje son variables vinculadas sólo al cuerpo que se sumerge (peso/masa, densidad, volumen)
Modelo 2	Las variables relevantes en relación con el empuje son variables vinculadas sólo al líquido (presión, profundidad).
Modelo 3	El empuje es mayor cuando el cuerpo está a menor profundidad (“Grados de flotabilidad”)

**Tabla 1: Modelos Explicativos propuestos para el Empuje**

El análisis de las respuestas de los estudiantes muestra también que:

- Hay conjuntos de estudiantes que comparten el mismo modelo explicativo.
- Hay estudiantes que presentan explicaciones diferentes dependiendo de alguna condición particular presentada por la situación problemática abordada. Esto da indicios de la presencia de pares “pregunta-respuesta” según la propuesta de Viennot (1998), ya que en situaciones que les evocan casos distintos, aunque representen situaciones físicamente equivalentes, parecen activar explicaciones diferentes (Respuestas tipo PR). La Tabla 2 muestra los agrupamientos de respuestas que responden a esas características.

Tipo	Explicaciones alternativas	
PR	Para cuerpos parcialmente sumergidos adhieren al Modelo 1	Para cuerpos completamente sumergidos adhieren al Modelo 2
PR1	En ausencia de vínculos, adhieren al Modelo 1.	En presencia de vínculos, el empuje depende de los vínculos.
PR2	En ausencia de vínculos, adhieren al modelo científicamente aceptado	En presencia de vínculos, el empuje depende de los vínculos.

**Tabla 2: Respuestas Tipo P-R propuestas para estudiantes que parecen activar selectivamente diferentes modelos explicativos en diferentes situaciones**

La Tabla 3 resume los porcentajes de adhesión a los diferentes modelos en la etapa de control de hipótesis.

Modelo Científico (MC)		29%	
Modelos No Científicos	Sólo Modelo 1 (M1)	6%	
	Sólo Modelo 2 (M2)	6%	
	Sólo Modelo 3 (M3)	8%	
	Pares P-R	PR1	6%
		PR2	18%
Otros	27%		
Total cuestionarios analizados		100 %	

**Tabla 3: Distribución de estudiantes en función de los modelos definidos**

## Conclusiones

El uso de modelos explicativos contruidos por los estudiantes con base en la selección de variables centradas en aspectos perceptuales del problema que consideran relevantes para el empuje y, por otra parte, la activación selectiva de diferentes modelos (respuestas PR), en función de las características del problema presentado, pueden dar cuenta de muchas de las dificultades de aprendizaje vinculadas a este tema.

Destacamos, entre los hallazgos en este trabajo, el problema de los “grados de flotabilidad”. Un conjunto de estudiantes que ya han estudiado Hidrostática (y también Estática) en un curso universitario, parece asociar la posición relativa de los cuerpos completamente sumergidos en el líquido con un “grado de flotabilidad”. Así, se proponen explicaciones que mencionan que un cuerpo totalmente sumergido “flota más” (el empuje que actúa es mayor) cuando se encuentra a un nivel más alto del líquido que cuando se encuentra en un nivel más bajo. Los resultados obtenidos en dos grupos diferentes de estudiantes de características similares mostraron 25% y 19% respectivamente de adhesión al Modelo 3, atribuyendo un “grado de flotabilidad” a los cuerpos sumergidos. Esto podría interpretarse como indicio de la presencia de representaciones del tipo “imagen”, evocaciones icónicas e imprecisas de gráficas y condiciones presentadas comúnmente por distintos textos en el análisis de las condiciones de flotación ( $E > P$  el cuerpo “sube”,  $E < P$  el cuerpo se hunde).

Los resultados obtenidos en este trabajo no sólo acuerdan en aspectos importantes con los resultados de investigaciones anteriores sobre los conceptos propios de los estudiantes, sino que permiten enfocarlos desde una perspectiva diferente a la luz de los modelos explicativos.

La característica de que los modelos explicativos pueden ser no explícitos ampliaría el concepto de que las ideas de los estudiantes están, muchas veces, expresadas en lenguaje impreciso e incluso pueden ser no explícitas (Driver, 1986, Prieto Ruz et al., 1997). La persistencia y resistencia al cambio de las ideas de los estudiantes (Driver, 1986; Prieto Ruz et al., 1997; Pintó et al., 1996) quedarían explicadas si pensamos que no son nociones aisladas, sino parte de una estructura (el modelo explicativo) y por ese motivo, un cambio involucraría no el simple cambio de un concepto aislado, sino un cambio de una parte de esa estructura.

La evidencia obtenida en esta investigación sobre la estructuración de las ideas de los estudiantes en modelos explicativos daría cuenta de cierto grado de coherencia interna de las mismas y de que no sean simples construcciones ad-hoc para una única situación (Driver, 1986), pues el mismo modelo explicativo puede ser usado en situaciones diferentes interpretadas como equivalentes. También acordaría con el principio citado por Tytler (1998 a, 1998 b) acerca de que los estudiantes intentan aplicar sus ideas en situaciones y contextos diferentes porque les resultan coherentes y convincentes (y que desde nuestro punto de vista es porque se estructurarían en modelos explicativos).

La característica de que las ideas de los estudiantes son construcciones personales, diferentes de las científicas y pueden parecer incoherentes desde esa perspectiva (Prieto Ruz et al., 1997) y de que sus explicaciones son construidas a partir de una mezcla de diferentes concepciones (Tytler, 1998 b), pero a pesar de ello las ideas son compartidas por estudiantes de distintos medios y edades (Driver, 1986; Pintó et al., 1996; Prieto Ruz et al., 1997), acordaría también con nuestro punto de vista, puesto que esos conceptos y construcciones personales se estructurarían en modelos explicativos compartidos por diferentes grupos de estudiantes.

Entre las características generales sobre las ideas de los niños planteadas por Driver et al. (1992) se encuentran la tendencia a basar el razonamiento en las características observables de una situación problemática, el enfoque limitado (centrando su atención sobre ciertas características sobresalientes, generalmente vinculadas a un objeto y no a la interacción de los elementos del sistema) y la dependencia del contexto desde los diferentes aspectos perceptivos que éste le plantea (mencionada también por Prieto Ruz et al., 1997). Desde el punto de vista de los modelos explicativos, esto estaría relacionado con la selección de las variables que el estudiante considera relevantes, que lo inducen a construir cierto modelo explicativo para el sistema estudiado. Este modelo puede diferir de otro, basado en otras variables surgidas de la percepción de otras características consideradas relevantes, en una situación física que puede ser científicamente equivalente a la primera. Tal es el caso de estudiantes que plantean correctamente el empuje sobre un cuerpo en ausencia de vínculos, pero en presencia de fuerzas de vínculo elaboran un modelo en el cual éstas actúan como características sobresalientes y son consideradas relevantes para el empuje.

Tytler (1998 b) menciona que las ideas de los estudiantes carecen de coherencia (en el sentido de su poca profundidad) y de consistencia (en el modo en que son aplicadas en distintos contextos y en el hecho de que concepciones elementales pueden coexistir con otras de mayor nivel, aún en el mismo contexto). Esto también puede ser retomado desde nuestro planteo, que propone que los estudiantes activan selectivamente uno u otro modelo explicativo en función de las características de la situación.

## **BIBLIOGRAFIA**

- ALURRALDE, E. y SALINAS, J. (2006). *A methodology to study students' explanatory models for buoyant force: spiralled exploratory inquiry and hypothesis testing*. Presentado en *GIREP 2006 Conference*, Amsterdam, CD en trámite.
- BACHELARD, G. (1973). *La Filosofía del No*, (Capítulos 1 y 2). Amorrortu Editores, Buenos Aires. Argentina.
- BUNGE, M. (1985). *La Investigación Científica*, Ed. Ariel, Barcelona. España.
- CHALMERS, A. (1992). *La ciencia y cómo se elabora*. Siglo Veintiuno de España Editores. Madrid, España.
- COLOMBO de CUDMANI, L.; SALINAS, J.; JAÉN, M. (2000). *Epistemología de la Física. Tópicos Introdutorios*. FACEyT. UNT. Argentina.

- DE KLEER, J. y BROWN, J. (1983). Assumptions and ambiguities in mechanistic mental models. En: Gentner, D. y Stevens, A. L. Eds. *Mental Models*. LEA, Hillsdale, NJ, pp. 155-190.
- DRIVER, R. (1986). "Psicología Cognoscitiva y Esquemas Conceptuales de los Alumnos". *Enseñanza de las Ciencias*, 4 (1), pp. 3-15.
- DRIVER, GUESNE Y TIBERGHIE (1992). *Ideas Científicas en la Infancia y Adolescencia*. Segunda Edición. Ediciones Morata, S. A. Madrid. España.
- ESTANY, A. (1993). *Introducción a la Filosofía de la Ciencia*, Crítica, Barcelona, España.
- FLORES CAMACHO, F. y GALLEGOS CAZARES, L. (1998). Partial possible models: An approach to interpret students' physical representation, *Science Education*, Vol. 82, pp. 15-29.
- GUTIÉRREZ, R. (1996). "Modelos mentales y concepciones espontáneas". *Alambique*, 7, 73-86.
- HOLLAND, J. H.; HOLYOAK, K. J.; NISBETT, R. E. y THAGARD, P. R. (1986). *Induction. Processes of inference, learning and discovery*. Cambridge, Mass.; The MIT Press. EEUU.
- JOHNSON-LAIRD, P. N. (1983). The nature of mental models. En *Mental Models*, (Cap. 15). Harvard University Press, Cambridge, EEUU.
- KRAPAS, S.; QUEIROZ, G.; COLINVAUX, D.; FRANCO, C. (1997). Modelo: Uma análise de sentidos na Literatura de Pesquisa em Ensino de Ciências. Presentado en el 1<sup>o</sup> Encontro Nacional de Pesquisa em Ensino de Ciências. Águas de Lindóia, São Paulo. Brasil.
- LOMBARDI, O. (1998). La Noción de Modelo en Ciencias. *Educación en Ciencias*. 2 (4), pp. 5-13.
- MOREIRA M. A. (1997). Modelos Mentais, *Memorias del Encontro sobre Teoria e Pesquisa em Ensino de Ciências*, pp. 1-40. Belo Horizonte, Brasil.
- MORTIMER, E. F. (1995). Conceptual Change or Conceptual Profile Change? *Science & Education*, 4(3), pp. 266-285.
- PINTÓ, R., ALIBERAS, J. y GÓMEZ, R. (1996). "Tres enfoques de la investigación sobre concepciones alternativas". *Enseñanza de las Ciencias*, 14 (2), pp. 221-232.
- POZO J. I. (1994). *Teorías Cognitivas del Aprendizaje*. Ediciones Morata, Madrid, España.
- PRIETO RUZ, T. y BLANCO LÓPEZ, A. (1997). *Las Concepciones de los Alumnos y la Investigación en Didáctica de las Ciencias*. Universidad de Málaga. España.
- SNEED, J. (1986). "Problemas filosóficos de la ciencia: un enfoque formal". En *Estructura y Desarrollo de las Teorías Científicas*, Cap. IX. Edit. Inst. de Investigaciones Filosóficas-UNAM. Pp. 179-214. México.
- STEGMULLER, W. (1986). Cambio teórico accidental ("no substancial") desplazamiento de teorías: en que medida puede la lógica contribuir a una mejor comprensión de ciertos fenómenos en la dinámica de las teorías. En *Estructura y Desarrollo de las Teorías Científicas*, Cap. X. Edit. Inst. de Investigaciones Filosóficas-UNAM. Pp. 215-249. México
- TYTLER, R. (1998 a). Children's conceptions of air pressure: exploring the nature of conceptual change, *International Journal of Science Education*, 20 (8), 929-958.
- TYTLER, R. (1998 b). The nature of students' informal science conceptions. *International Journal of Science Education*, 20 (8), 901-927.
- VIENNOT, L., (1998). A multidimensional approach to characterise a conceptual state in students: the role played by questions. In D. Psillos (Ed), *European Research in Science Education II*. Pp 178-187. Thessaloniki: Art of Text S. A.