

EPISTEMOLOGÍA E HISTORIA DE LA CIENCIA

SELECCIÓN DE TRABAJOS DE LAS XIV JORNADAS

VOLUMEN 10 (2004), Nº10

Pío García
Patricia Morey
Editores



ÁREA LOGICO-EPISTEMOLÓGICA DE LA ESCUELA DE FILOSOFÍA
CENTRO DE INVESTIGACIONES DE LA FACULTAD DE FILOSOFÍA Y HUMANIDADES
UNIVERSIDAD NACIONAL DE CÓRDOBA



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons atribución NoComercial-SinDerivadas 2.5 Argentina



Representaciones y resolución de problemas en Física¹

Laura Buteler / Zulma Gangoso.*

Introducción

La intención de construir una teoría general de la cognición humana basada en un único formato representacional ha mostrado ser, hasta el momento, una empresa demasiado ambiciosa. No obstante, en el intento de explicar ciertos fenómenos mentales involucrados en tareas cognitivas particulares, han surgido numerosos formatos representacionales en el ámbito de la Ciencia Cognitiva. Más allá de las condiciones que las tareas imponen sobre las representaciones utilizadas, existe otra restricción proveniente del dominio de conocimiento específico en el que se trabaja. Por ejemplo, la resolución de problemas lúdicos, posee diferencias con la resolución de problemas de Física en la naturaleza del conocimiento necesario para su ejecución. Mientras que los primeros requieren del conocimiento de un conjunto de reglas concretas y bien delimitadas, los segundos requieren de la utilización de conceptos abstractos relacionados entre sí jerárquicamente, en forma de leyes y principios. Uno podría preguntarse hasta qué punto son comparables estos dos tipos de conocimiento y en rigor, esta es la pregunta que ha dado lugar a numerosos estudios comprometidos con el aprendizaje humano en dominios específicos de conocimiento.

En el ámbito de la resolución de problemas en Física, existe consenso en que la representación que una persona construye a partir de la lectura del enunciado de un problema, guía el proceso de solución (Larkin, 1983). A partir de esta idea, surge la posibilidad de ampliar el estudio relativo a esta tarea, profundizando el conocimiento acerca de la representación que guía el proceso de solución. Aparecen entonces varias propuestas potencialmente útiles para orientar las investigaciones en esta tarea. La evaluación de estas propuestas teóricas para la representación del conocimiento es uno de los primeros problemas a abordar, ya que se trata de una "importación" de elementos teóricos de un ámbito amplio como es la cognición humana, a un ámbito muy particular como es la cognición humana en el dominio de la Física.

La resolución de problemas en Física ha delimitado un ámbito de investigación propio que, atendiendo a los formatos propuestos por científicos cognitivos para la representación del conocimiento, se enfrenta al problema de incorporar explícitamente el dominio específico de conocimiento requerido para la realización de esta tarea. Esto implica un análisis de las propiedades y condiciones de utilización de tales formatos representacionales para la tarea que nos ocupa.

Los esquemas como formato para la representación del conocimiento y su relación con la resolución de problemas en Física

La noción de esquema es actualmente utilizada en el ámbito de la cognición, con una connotación más "computacional" que la noción original, utilizada por los psicólogos europeos durante la primera mitad del siglo XX (Piaget, 1926, Bartlett,

* Universidad Nacional de Córdoba.

1932) Más allá de las diferencias entre las distintas teorías de esquemas desarrolladas para explicar distintos tipos de fenómenos (esquemas visuales, esquemas situacionales o guiones, esquemas de dominio, esquemas sociales, esquemas de autoconcepto), se intenta resumir aquí las características compartidas por todas ellas.

- ♦ Los esquemas son unidades cognitivas de alto nivel, en el sentido que son entidades construidas sobre la base de elementos más simples (subesquemas).
- ♦ Los esquemas poseen una estructura jerárquica, pudiendo los más simples formar parte de esquemas más complejos.
- ♦ La información contenida en los esquemas es prototípica, ya que contiene componentes genéricas o variables no especificadas que se reemplazan por los valores concretos en cada instancia particular (actualización).
- ♦ Los esquemas pueden ser activados a partir de sus referentes o subesquemas o bien, a partir de esquemas superiores.

La noción de esquema como formato representacional, tuvo un impacto considerable dentro de la línea de investigación denominada *expertos y novatos* en el dominio de la Física (Chi, Feltovich y Glaser, 1981; de Jong y Ferguson-Hessler, 1986; Ferguson-Hessler y de Jong, 1987; Elio y Scharf, 1990, entre otros). Posiblemente, este impacto se debe a que la caracterización anterior se adecua bastante bien al conocimiento que el experto en Física pone en juego al resolver un problema.

Una de las características más representativas del comportamiento experto, es la utilización de un conocimiento jerárquico y organizado en la discusión cualitativa que ellos hacen antes de abordar la resolución matemática del problema. Este hecho se asocia muy bien con la presencia de "esquemas de problemas" en la memoria de largo plazo, que se relacionan con la actualización de algún esquema representando un principio o ley Física ante un problema particular que involucre ese principio o ley para su resolución. Otro aspecto sugestivo es la inclusión de conocimiento procedural en el esquema. Existen evidencias empíricas que los resolvidores expertos en Física utilizan conocimiento declarativo y procedural como un único "paquete" de información. Aparentemente estos sujetos almacenan ciertos conceptos junto a ciertos procedimientos.

Si bien este formato resultó útil a la hora de describir y explicar el comportamiento experto, no fue igualmente exitoso para el estudio de los resolvidores novatos. La orientación de la investigación en aprendizaje y enseñanza de la Física hacia cuestiones relacionadas con la instrucción formal, plantea la necesidad de estudiar y describir el punto de partida de todo proceso de aprendizaje: el conocimiento (declarativo y procedimental) del mundo físico con que el alumno llega al aula.

Los modelos mentales constituyen un formato representacional que intenta dar cuenta de este conocimiento antes y/o durante algún período de instrucción formal. Quizás a diferencia de los esquemas, los modelos mentales han sido utilizados por distintos autores con connotaciones diferentes (Johnson-Laird, 1983; Gentner y Stevens, 1983; Diakidoy, Vosniadou y Hawks, 1997; Schnotz y Preuß,

1997). En cuanto al tipo de situaciones descritas, existen al menos dos enfoques diferenciados potencialmente aptos para ser utilizados en la actividad de resolución de problemas en Física.

Los modelos mentales de Johnson-Laird

Johnson-Laird (1983) elabora una teoría cognitiva que tiende a dar respuestas a ciertos problemas referidos al pensamiento humano, proponiendo un formato representacional que denomina modelo mental. Un modelo mental es una representación interna de un estado de cosas externo o interno que preserva la estructura de ese estado, y que se construye ante cada situación concreta en la memoria de trabajo. La finalidad del modelo es permitir a las personas interactuar con ese estado de cosas.

La teoría de Johnson-Laird (op. cit.) es, o al menos pretende ser, una teoría general del razonamiento humano. Si bien se trata de una teoría de amplio espectro, el nivel de desarrollo para los distintos aspectos abordados (incluyendo en esto algunos datos empíricos que la avalen), refleja una clara orientación hacia aspectos puntuales. En particular, la teoría está orientada a explicar el razonamiento silogístico y la comprensión del discurso, por lo que es posible utilizar estas ideas para estudiar la representación que un sujeto construye cuando el problema está dado en lenguaje natural.

Johnson-Laird propone dos estadios durante la comprensión del discurso. El primero da lugar a una representación proposicional, y el segundo hace uso de esta representación proposicional para construir un modelo mental cuya estructura es análoga al estado de cosas descrita por el discurso. Los aportes de la teoría de los modelos mentales se concretan en este segundo estadio de la comprensión.

La construcción del modelo mental se concreta en un conjunto de procedimientos efectivos que conforman una semántica procedural. En este proceso, algunos de los siguientes procedimientos son ejecutados:

- 1- Un procedimiento que comienza la construcción de un nuevo modelo mental si la sentencia no hace referencia a alguna entidad en el modelo actual del discurso
- 2- Un procedimiento que, si al menos una entidad que está representada en el modelo actual es referida en la nueva sentencia, añade las otras entidades, propiedades o relaciones de manera apropiada al modelo
- 3- Un procedimiento que integra dos o mas modelos, hasta el momento independientes, si una sentencia relaciona entidades contenidas en ellos
- 4- Un procedimiento que verifica si las nuevas propiedades y relaciones valen en el modelo. Si este proceso es imposible de efectuar por defecto de información relevante, entonces actúa
- 5- un procedimiento que añade las propiedades o relaciones presentes en la sentencia al modelo de manera apropiada. Si estos nuevos elementos provocan conflicto con la información del discurso posterior, dos procedimientos recursivos permiten tomar decisiones al respecto:

6- si una sentencia es verdadera en el actual modelo, este procedimiento chequea si el modelo puede ser modificado de manera consistente con la información previa, de manera tal que esta sentencia resulte falsa. Si tal modificación es imposible, la sentencia actual no adhiere contenido semántico al modelo.

7- Si una sentencia es falsa en el modelo actual, el procedimiento chequea si el modelo puede ser modificado de manera consistente a la información previa de manera tal que la sentencia sea verdadera. Cuando tal modificación no es posible, la sentencia es inconsistente con las sentencias previas.

Durante el transcurso de la comprensión, la representación proposicional de una sentencia dispara alguno de estos procedimientos en función de la expresión de referencia, del modelo contextual de esa expresión, y del conocimiento de base disparado desde la sentencia. Así, un modelo es iniciado, extendido o evaluado de acuerdo a lo que se conoce acerca de las condiciones de verdad de esta sentencia. Estos procedimientos están limitados por la capacidad de la memoria de trabajo, pudiendo extraerse conclusiones no válidas desde el punto de vista de la lógica formal.

La semántica procedural y el modelo mental de un enunciado de un problema de Física

Ante estos enunciados, y desde la perspectiva de Johnson-Laird, el sujeto construye un modelo mental de la situación en su memoria de trabajo, que orienta su actuación. Este modelo es construido a partir de la información escrita, del significado que esa información tiene en el contexto en que es presentado, y del conocimiento de base que el sujeto posee al respecto. En esta circunstancia, el conocimiento de base incluye el conocimiento específico de leyes y principios físicos requeridos para la resolución del problema.

En primer lugar supondremos que el enunciado de un problema de física constituye un texto en el sentido de Johnson Laird. De allí, durante el proceso de comprensión el lector activa, según sea el caso, algunos de los siete procedimientos que constituyen la semántica procedural.

Se presenta un enunciado de un problema instruccional de Física (electrodinámica), presentado a alumnos de un curso básico de Licenciatura y se identifican los procedimientos que actuarían durante la comprensión por parte de un sujeto instruido formalmente en ese dominio:

El sincrotrón de Campinas (Brasil) consiste básicamente en un gran anillo de 93,2 m de perímetro dentro del cual alrededor de 10^{11} electrones viajan a muy altas velocidades en trayectorias aproximadamente circulares dentro de una región del anillo de sección rectangular (0,3 mm de ancho por 0,4 mm de largo, aproximadamente). Calcular la densidad de corriente suponiendo que los electrones viajan a la velocidad de la luz.

El enunciado está constituido por dos sentencias, una de las cuales constituye la demanda del problema. La primera sentencia da lugar a la construcción de un modelo vía el procedimiento 1. En la figura 1 se muestran los elementos, las propiedades de esos elementos, y las relaciones entre ellos, correspondientes a dicha sentencia.

Elementos	Propiedades	Relaciones
Sincrotrón	De Campinas Forma de anillo Sección rectangular	Los electrones viajan dentro del sincrotrón
Electrones	Viajan a alta velocidad Viajan en trayectorias circulares	

Figura 1: Análisis de la primera sentencia del problema

El modelo inicial es construido con los elementos anteriores, conteniendo, al menos, las propiedades y relaciones especificadas en la figura, a partir de un modelo de contexto descrito por la sentencia. *Dependiendo del conocimiento de base del lector*, mayor o menor cantidad de inferencias se ejecutan, agregando relaciones y/o propiedades al modelo. La segunda sentencia contenida en el enunciado, y que constituye la demanda del mismo, hace referencia a un elemento (electrones) contenido en el primer modelo, por lo que la semántica procedural agrega el nuevo elemento (densidad de corriente) a este modelo. Las relaciones entre este nuevo elemento y los elementos anteriores se establecen, vía el procedimiento 5, infiriendo información desde el conocimiento de base. En este caso, es esencial establecer la relación entre los electrones y la densidad de corriente, a fin de construir un modelo único para la situación descripta.

La semántica procedural antes presentada, no especifica nada acerca de la relación entre el conocimiento de base y la construcción del modelo mental actual, cuestión que para las tareas en dominios específicos de conocimiento es crucial. A pesar de la descripción explícita de la semántica procedural, no hay relación explícita entre el modelo mental actual y la recuperación del conocimiento de base de la memoria de largo plazo.

La incorporación del conocimiento de base en la semántica procedural de Johnson-Laird es un problema teórico. Algunos investigadores han argumentado que tal conocimiento de base podría ser considerado en términos de modelos mentales que han sido utilizados en reiteradas oportunidades con éxito, y que son incorporados como elementos en el nuevo modelo mental (Greca y Moreira, 1997; Vosniadou, 1994). Sin embargo, esta posición genera, a nuestro criterio, dos inconvenientes si se pretende trabajar en el dominio de esta teoría.

En primer lugar, olvida la naturaleza de los modelos mentales de Johnson-Laird, en el sentido que son representaciones construidas en la memoria de trabajo cada vez ante una nueva situación. Esos modelos mentales exitosos serían más bien conocimiento empaquetado en la memoria de largo plazo, del tipo de los esquemas discutidos en el apartado anterior. En segundo lugar toda propuesta para la incorporación del conocimiento de base a la semántica procedural, debiera ir acompañada de procedimientos explícitos, psicológicamente plausibles y potencialmente computables². Hasta el momento, tal desarrollo no ha sido concretado.

Otro enfoque parcialmente diferente, también utiliza el concepto de modelo mental para explicar la interacción de las personas con el mundo físico. Se trata de una perspectiva mucho menos ambiciosa y más pragmática que la de Johnson-Laird, cuyo objetivo es obtener respuestas acerca de la naturaleza del razona-

miento cualitativo que las personas ponen en juego cuando interactúan con ciertos sistemas físicos o diseños tecnológicos. Esta propuesta, resulta, al menos en principio, sugerente en el ámbito de la resolución de problemas en Física, dado que gran parte de la dificultad experimentada por los estudiantes, reside en la posibilidad de efectuar un análisis cualitativo de las situaciones físicas (o sistemas físicos) que les son presentadas a modo de problemas.

Los modelos mentales de situaciones físicas

Cuando una persona se enfrenta a un sistema físico complejo para predecir su comportamiento, lo hace a partir de ciertas relaciones causales entre los elementos que constituyen el sistema. Ante estas situaciones, algunos investigadores han propuesto que las personas construyen un modelo mental del sistema físico con el cual predicen y explican su comportamiento (Gentner y Gentner, 1983; Williams, Hollan y Stevens, 1983, de Kleer y Brown, 1983; Forbus, 1984).

En estos estudios, el modelo mental es una compilación de relaciones causales o producciones que vinculan las distintas partes o elementos que componen el sistema en cuestión. Se trata de un "bloque" de conocimiento en la *memoria de largo plazo*, constituido por relaciones causales explícitas que conectan los posibles estados de los distintos elementos que componen el sistema, lo cual otorga al modelo la posibilidad de ser dinámico.

Por ejemplo, Williams, Hollan y Stevens (1983), utilizaron un sistema físico que denominaron "intercambiador de calor" y reportaron los modelos que las personas construían cuando se los interrogaba respecto del funcionamiento del artefacto. El dispositivo que se muestra en la figura 2, corresponde al diseño del artefacto, el cual se utiliza para enfriar un fluido.

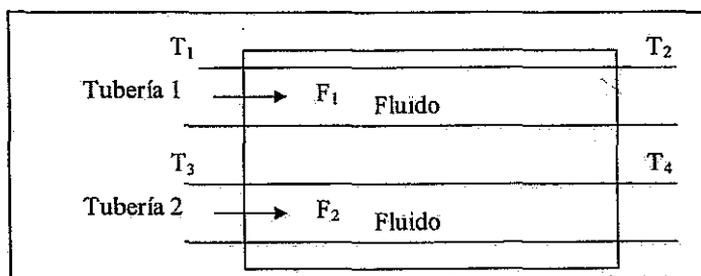


Figura 2. Por la tubería superior pasa el fluido con un caudal F_1 . Por la tubería inferior el fluido pasa con un caudal F_2 . Las temperaturas entrantes y salientes de ambas tuberías son T_1 , T_2 y T_3 , T_4 respectivamente.

Esta máquina pone en contacto térmico a la tubería 1 con la tubería 2, que contiene un fluido que ingresa a esa tubería a una temperatura T_3 , menor que T_1 . En estas condiciones, y conociendo que el calor fluye desde regiones de mayor temperatura a regiones de menor temperatura, el flujo F_1 sale de la tubería 1 a una temperatura T_2 , menor que T_1 , y el flujo F_2 , sale de la tubería 2 a una temperatura T_4 mayor que T_3 . Fijadas estas temperaturas, la cantidad de calor que ingresa al

sistema depende del flujo F_1 , y la cantidad de calor extraída del sistema depende de F_2 .

Un modelo mental de este sistema contiene como elementos a las tuberías por las que fluyen los fluidos "caliente" y "frío"; como parámetros o cantidades a las temperaturas de entrada y salida, y los caudales correspondientes a esos elementos; y como conocimiento causal general, que el calor se trasmite de regiones de mayor a menor temperatura.

El razonamiento a partir de un modelo de este tipo es cualitativo, ya que no es posible predecir, por ejemplo, la cantidad precisa de calor transferido. El modelo mental combina las partes para formar un conjunto de relaciones que predicen el comportamiento del sistema, proceso denominado por los autores como "formulación del modelo". Para simular el comportamiento del sistema, el modelo debe especificar las relaciones entre las distintas cantidades presentes en el diseño. Los autores propusieron que un posible modelo mental para este sistema, podría ser el que se presenta en la figura 3³.

T_2 aumenta con T_1
T_4 aumenta con T_1 si T_3 es menor que T_1
T_4 aumenta con T_3
T_2 disminuye con T_3 si T_3 es menor que T_1
T_2 aumenta con F_1
T_4 aumenta con F_1 si T_3 es menor que T_1
T_4 disminuye con F_2
T_2 disminuye con F_2 si T_3 es menor que T_1

Figura 3: Un posible modelo cualitativo del intercambiador de calor

Los autores interpretaron algunas verbalizaciones en términos de modelos mentales distintos según la presencia/ausencia de las reglas anteriores. En otros casos los sujetos utilizaban modelos alternativos, o refinaban el modelo construido inicialmente, recurriendo a lo que los autores denominaron "conocimiento experiencial", definido como la fuente de datos que utilizan para testear sus modelos.

Aunque los autores no dan pautas para incorporar este conocimiento de manera explícita al modelo mental, podría ser agregado como reglas, siempre y cuando este conocimiento pueda ser descrito explícitamente. Se trataría de conocimientos compatibles con la concepción de modelo mental utilizada por estos autores.

Conclusiones

Se han presentado tres formatos para la representación del conocimiento potencialmente útiles para abordar la resolución de problemas en Física: los esquemas, los modelos mentales de Johnson-Laird, y los modelos mentales de situaciones físicas. En cualquiera de los tres casos se trata de propuestas para representar el conocimiento que una persona pone en juego cuando resuelve un problema de Física, aunque ciertos aspectos teóricos y algunos resultados empíricos imponen fuertes restricciones a la elección de uno u otro formato representacional.

En primer lugar, los esquemas y los modelos de situaciones físicas aparecen como representaciones que se ajustan bien a dos extremos de una misma dimensión: el grado de experticia de la persona que resuelve. Mientras los modelos mentales de situaciones físicas pueden explicar la actuación de personas sin instrucción formal ante ciertas preguntas relacionadas a situaciones físicas, los esquemas explican satisfactoriamente bien la actuación de resolutores expertos en este dominio. Para los investigadores interesados en obtener implicaciones instruccionales en la resolución de problemas en Física, queda planteado el problema de describir la evolución experimentada por los estudiantes a causa de la instrucción. No obstante ambas representaciones son comparables en el sentido que se definen como conocimiento empaquetado (con diferentes características) en la memoria de largo plazo.

En segundo lugar, los modelos mentales de Johnson-Laird parecen tener una aplicación más limitada a la tarea de resolución de problemas de Física. Mientras que el concepto de modelo de trabajo en la memoria de corto plazo resulta atractivo para la resolución de problemas en Física, la teoría no plantea ninguna vinculación explícita entre ese modelo y el conocimiento de base, que, como expresamos antes, resulta crucial para la tarea de resolución de problemas en este dominio. A menos que estos modelos mentales sean propuestos con relación a alguna estructura en la memoria de largo plazo para el conocimiento de base, estas representaciones son, a nuestro criterio, de reducido alcance para la tarea que nos ocupa.

Bibliografía

- Bartlett, F. C. (1932/1977) En De Vega, M., *Introducción a la psicología cognitiva*. Alianza Psicología, S. A., Madrid.
- Chi, M., Feltovich, P.; y Glaser, R. (1981). Categorization and representation of physics problems by experts and novices. *Cognitive Science*, 5, 121-152.
- De Jong, T y Ferguson-Hessler, M. (1986). En *Handbook of Research on Science Teaching and Learning*. Dorothy Gabel (Ed). Mc Millan Publishing Company, 1994.
- De Kleer, J. y Brown, S. (1983) Assumptions and Ambiguities in Mechanistic Mental Models. En Gentner, D. y Stevens, A. (Eds.). *Mental Models*, Hillsdale, N.J.. Lawrence Erlbaum Associates.
- Diakidoy, I; Vosniadou, S.; y Hawks, J. (1997) Conceptual Change in Astronomy: Models of the earth and of the day/night cycle in American-Indian children. *European Journal of Psychology of Education*, 12(2), 159-184.
- Elio, R. y Scharf, P. (1990). Modeling novice-to-expert shifts in problem-solving strategy and knowledge organization. *Cognitive Science*, 14(4), 579-639.
- Ferguson-Hessler, M. y de Jong, T. (1987) En *Handbook of Research on Science Teaching and Learning* Dorothy Gabel (Ed). Mc Millan Publishing Company, 1994.
- Forbus, K. (1984). En Markman, A. *Knowledge Representation*. Lawrence Erlbaum Associates, 1999.
- Gentner, D. y Stevens, A. (1983) *Mental Models*, Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.
- Gentner, D. y Gentner, D. R. (1983). Flowing Waters or Teeming Crowds: Mental Models of Electricity En Gentner, D. y Stevens, A. (Eds.). *Mental Models*, Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.

- Greca, I. y Moreira, M. (1997). The kinds of mental representations- models, propositions and images- used by college physics students regarding the concept of field. *International Journal of Science Education*, 19(6), 711-724.
- Johnson Laird, P. (1983). *Mental Models*, Harvard University Press, Cambridge, Massachusetts.
- Larkin, J. (1983). The role of problem representations in physics. En Gentner, D. y Stevens, A.L. (Eds.). *Mental Models*, Hillsdale: Lawrence Erlbaum Associates.
- Piaget, J. (1926). En De Vega, M. *Introducción a la psicología cognitiva*, Alianza Psicología, S. A., Madrid, 1995.
- Schnotz, W. y Freuß, A. (1997). Task-dependent construction of mental models as a basis for conceptual change. *European Journal of Psychology of Education*, 12(2), 185-212.
- Vosniadou, S. (1994). Capturing and modeling the process of conceptual change. *Learning and Instruction*, 4, 45-69.
- Williams, M.; Hollan, D.; y Stevens, A. (1983). Human Reasoning About a Simple Physical System. En Gentner, D. y Stevens, A. (Eds.) *Mental Models*, Hillsdale, N.J.: Lawrence Erlbaum Associates.

Notas

1 Este trabajo ha sido subsidiado parcialmente por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica.

2 Estos requisitos constituyen, desde la perspectiva de Johnson-Laird, el punto de partida de toda teoría psicológica del pensamiento.

3 Los autores del trabajo, argumentan que su modelo mental difiere de los sistemas de producciones ampliamente usados en el campo de la Ciencia Cognitiva. Los elementos (denominados por ellos objetos autónomos) que constituyen el modelo definen explícitamente una localidad y una topología, y la aplicación de las reglas está acotada por ellas. En contraste, un sistema de razonamiento basado en reglas, permite la comunicación arbitraria entre las producciones.