

Significatividad ontológica y epistemológica en el Aprendizaje y Modelos Mentales

Rufina Gutierrez

*Didáctica de las Ciencias. Fundación Castroverde
Madrid. España*

Resumen

Cuando se analizan las líneas de investigación que comúnmente aparecen en las principales revistas internacionales de Didáctica de las Ciencias, resulta curioso observar la falta de artículos relativos al tema del «Aprendizaje Significativo». Este concepto parece haber pasado a la literatura didáctica desconectado de su sentido original (Teoría de Aprendizaje, de Asubel), y si se habla en ellos de «significatividad» se utiliza el término en su acepción común. En esta intervención señalaremos dos aspectos en los que la investigación didáctica ha seguido avanzando, y en los que no hemos encontrado referencia alguna en relación al aprendizaje significativo: las creencias epistemológicas y ontológicas de los sujetos. Pondremos de manifiesto la importancia que la «significatividad» ontológica y epistemológica tiene para el aprendizaje, mostrando cómo estas creencias están en el centro de los mecanismos que movilizan el cambio conceptual. Para ello mostraremos las posibilidades del modelo ONESPI, para el cambio conceptual, desarrollado a partir del concepto de modelo mental.

Palabras clave

Aprendizaje significativo, epistemología espontánea, ontología espontánea, cambio conceptual

Abstract

The lack of references about Asubel's theory of learning is striking when analysing the production of literature on today's research on Didactic of Science, having in mind an international perspective. «Meaningful Learning» seems to become a term whose ordinary use has lost their theoretical reference, thus used in its commonsense meaning. In this contribution, we will show how the term «meaningful learning» is scarcely used (if ever) in relation to two lines of research in Didactic of Science: commonsense epistemological and ontological believes. We will try to illustrate the important role that «meaningful» epistemology and ontology play in learning, pointing out that these believes are at the central core of conceptual change mechanism. We will exemplify with the ONESPI model for conceptual change, developed from the mental model construct.

Key words

Meaningful learning, spontaneous epistemology, spontaneous ontology, conceptual change.

Agradezco a la Organización de este Encuentro la invitación que me ha hecho para participar en esta Mesa Redonda, en el marco del V *Encuentro Internacional sobre Aprendizaje Significativo*. Es una buena oportunidad para volver a pensar en un tema sobre el que trabajé hace años (Gutierrez 1987), y que ha dejado en la Didáctica de las Ciencias algunas improntas permanentes.

El título de la Mesa Redonda sitúa el tono de la que será mi intervención: «Perspectivas críticas de la Teoría del Aprendizaje Significativo». Es normal que después del tiempo transcurrido desde que Ausubel publicó su libro *Educational Psychology: A cognitive view* (1968), haya que preguntarse por el estado de salud de su Teoría, por cómo ha resistido el embate del tiempo, los avances de la didáctica y de la propia psicología.

Como no disponemos de mucho tiempo, enumeraré algunos de los puntos que, a mi modo de ver, serían necesarios revisar o actualizar en relación, concretamente, al Aprendizaje significativo. Lo haré situando esta línea didáctica en relación con otras líneas didácticas y de psicologías que se han ido desarrollando en estos casi cuarenta años.

Boom y declive de la Teoría de Ausubel en la década de los 80

Lo primero que llama la atención es que, después del *boom* que supuso la teoría de Ausubel al principio de la década

de los 80, sobretudo en Europa, a finales de la misma Ausubel es un autor que apenas se cita en los artículos de las principales revistas internacionales de investigación didáctica. Parece que lo que Ausubel llamó «aprendizaje significativo», adscribiendo al término un significado teórico, pasa a la literatura didáctica como un término común, reteniendo de su formulación original sólo lo que parece obvio (no técnico): que para que se dé un aprendizaje es necesario que lo que se presente al alumno tenga algún sentido, alguna «significatividad» para él. Y no sólo en la literatura: en nuestra experiencia en formación de profesores, encontramos que esta es la consideración que éstos hoy en día atribuyen al término. Y esto es así incluso cuando explicamos en detalle y con ejemplificaciones la teoría ausubeliana, en un intento de operativizar sus contenidos esenciales.

Situación de la teoría de Ausubel en el contexto didáctico general a finales de los 80

El marco constructivista y la Teoría de los Esquemas

¿Por qué este olvido de la Teoría de Ausubel? En nuestra opinión, el éxito de Ausubel (*de Ausubel*, no de su teoría como tal) en los años citados se debió principalmente a la frase feliz con la que abre su libro, después de la dedicatoria del mismo: «*Si tuviese que reducir toda la psicología educativa a un solo principio, enunciaría éste: el factor más importante que influye en el aprendizaje es lo que el alumno ya sabe. Averíguese esto, y enséñese consecuentemente*». Y que posiblemente de-

sencadena la multitud de investigaciones que se llevan a cabo en la década de los 80 sobre ideas previas o espontáneas de los sujetos. Es la etapa de lo que podríamos llamar el *constructivismo ingenuo*. Pero al finales de los 80 esta línea de investigación alcanza su techo. En aquellos momentos Watts (1988) describe la situación de la investigación en este campo como «*the butterfly hunt*» (la caza de mariposas) (1988:75): el «constructivismo» en esta época es en realidad «*una serie de datos en busca de una teoría explicativa*», si se nos permite parodiar el título de la obra de Pirandello¹. Aceptando que la Teoría de Ausubel no puede dar cuenta de la complejidad de los datos encontrados, los investigadores están a la búsqueda de nuevas teorías explicativas (Driver y otros 1985), y se decantan principalmente por la Ciencia Cognitiva (Gadner 1985) como candidata para dar coherencia a los datos de la investigación. Ahora los autores más citados son Anderson (1977), Rumelhart y Ortony (1977) y Rumelhart y Norman (1978, 1985), en el marco de la Teoría de los Esquemas². Como es sabido, la teoría de los esquemas es una teoría acerca de cómo se almacena nuestro conocimiento en la memoria, y cómo se van modificando, ampliando o reestructurando dichos esquemas. A diferencia de la memoria asociativa o proposicional, de naturaleza atomista, los esquemas presentan una estructura holista, formando unidades

más compleja que las meras proposiciones. En estos momentos la comunidad de investigadores en didáctica de las ciencias concede a este modo de concebir las representaciones mentales más potencialidad explicativa que a la memoria asociativa, semántica o proposicional. En este sentido, la teoría de los esquemas es un disparo a la línea de flotación de la Teoría de la Asimilación, en la que se sustenta todo el entramado teórico de Ausubel. Se puede decir que en este momento la investigación ausubeliana se empieza a apartar de las corrientes principales de investigación didáctica. No se observa una reacción crítica que permita a esta corriente formar parte de y acompañar a las vanguardias investigadoras³. A nuestro modo de ver, comienza su aislamiento (lo cual no supone un pronunciamiento por nuestra parte sobre su eficacia/ineficacia). ¿Independencia o autosuficiencia? Los más conocedores del tema tienen aquí la palabra.

La investigación del marco epistemológico en relación a los alumnos

Pero tampoco la teoría de los esquemas soluciona todos los problemas. Una de las causas es que, en general los au-

¹ Pirandello, Luigi, *Sei personaggi in cerca d'autore*. Drama estrenado en Roma en 1921. Existen numerosas ediciones en español.

² No distinguimos aquí, como se hace en la literatura especializada, entre *scripts* (Schank y Abelson 1977), *frames* (Minsky 1974) y *esquemas* (Anderson 1977). En la investigación Didáctica se utiliza el concepto de «esquema» de manera genérica, ya que todos estos autores se refieren a una manera *holista* de entender la estructura de la memoria.

³ Muy al contrario, en su libro *The acquisition and retention of knowledge* (2000) revisión de 1 publicado en 1963, *The Psychology of Meaningful Verbal Learning*, realiza una crítica severa a los «modelos cibernéticos e informáticos del funcionamiento cognitivo» (pp 220 y ss de la traducción castellana de 2002), en los que descarta que sus modelos puedan suponer algún avance explicativo de los fenómenos cognitivos en relación con su teoría de la asimilación.

tores inscritos en la línea de investigación de la Ciencia Cognitiva, son innatistas⁴ y, por lo tanto, dentro de este marco conceptual o se acepta el innatismo, o no se puede dar cuenta del origen de las ideas espontáneas de los sujetos. Son pocos los autores que se declaran innatistas en Didáctica de las Ciencias (Preece 1984)⁵. Pero todos están convencidos de la necesidad de conocer el origen de las ideas espontáneas, para poder entender de algún modo por qué resulta tan difícil provocar un *cambio conceptual* (Dykstra y otros 1992, Chi y otros 1994, Vosniadou 1994, Duit y Treagust 1998). Lo cual implica que hay que situar las investigaciones en otro nivel; y esto conduce a que se investiguen las concepciones epistemológicas de los alumnos, ya que se considera que las concepciones conceptuales espontáneas pueden ser sólo la punta de iceberg de un sistema de creencias más profundo. Ejemplo de estos trabajos son los de Llorens 1988, Carey y otros 1989, diSessa 1993a, Carretto y Viovy 1994. Estamos a finales de los 80 y comienzo de los 90. Parece que el marco ausubeliano tampoco incorpora el cambio de perspectiva que se está produciendo

en este momento. Al menos puede decirse que deja de aparecer como referencia en las investigaciones publicadas en las revistas internacionales. Es notable que en la revisión de su obra de 1963 (*The Psychology of Meaningful Verbal Learning*, publicada en el año 2000 con el título *The acquisition and retention of knowledge*, traducida y publicada en castellano en el 2002, con el título *Adquisición y retención del conocimiento: una perspectiva cognitiva*), Ausubel no incluya ninguna referencia a trabajos realizados en la década de los 80⁶, dentro del marco de su teoría.

Por ejemplo, en relación a la investigación en didáctica de las ciencias, los resultados que aparecen en esta línea de investigación muestran que la mayoría del alumnado se mueve dentro de la tradición epistemológica del empirismo ingenuo, manteniendo una visión de la ciencia basada en «hechos» y en la «objetividad de las observaciones» (Roth y Roychoudhury 1994, Désautels y Laroche 1998b, Tsai 1999). Naturalmente, estos datos son muy importantes a la hora de hablar de la *significatividad* de los conceptos científicos que se pre-

⁴ En la línea «dura» del innatismo encontramos a autores como Keil (1989); Carey (1985) presentaría un innatismo moderado. Sin embargo, Mynsky (1986) no es innatista, lo cual supone una excepción.

⁵ Novak (1985) parece presentarse a sí mismo como un innatista moderado. Ver p 190.

⁶ Ausubel dice explícitamente en el prólogo de su libro *The acquisition and retention of knowledge* (2000) (pp 22 y 23 de la edición castellana) que principalmente cita «referencias antiguas», por considerarlas más genuinas en relación al aprendizaje significativo, ya que «*Gran parte del reciente traslado desde enfoques neoconductistas a enfoques cognitivos, tanto en la psicología experimental y educativa como en la teoría del aprendizaje, es más aparente que real*». A pesar de todo, en esas «referencias antiguas» no incorpora ningún artículo en los que se critican diversos aspectos medulares de su teoría, como por ejemplo, los de Barnes y Clawson (1975) y Harley y Davies 1976, relativos a los organizadores del aprendizaje; los de Albert (1979) y Lawson (1982), relativos a las limitaciones del ámbito de aplicación de la teoría de la asimilación; los de Cawthron y Rowell (1978) y Strike y Posner (1982), relativos a la epistemología empirista que (según estos autores) subyace a la misma. En cualquier caso, es poco explicable que no preste atención a las nuevas investigaciones originadas también en esa época, no necesariamente relacionadas con «teorías cibernéticas del aprendizaje», que podrían haber ampliado su perspectiva en relación al aprendizaje significativo.

sentan a estos sujetos para su aprendizaje. Tienen la potencialidad de condicionar cuáles de ellos se asimilarán correctamente u cuáles no.

De las creencias epistemológicas a las ontológicas

Conocer el marco epistemológico de significado en el que inscriben las ideas espontáneas de los sujetos proporciona al profesor una *clave general* para la comprensión de determinados comportamientos cognitivos de sus alumnos. Pero necesitaría de *análisis más finos* para saber cómo un alumno determinado construye o maneja conceptos científicos específicos. Estos análisis más finos y concretos sólo los puede proporcionar el *estudio de las creencias ontológicas* del alumnado. A partir de la década de los 90 empieza esta línea de investigación, y hoy disponemos de un cierto volumen de investigaciones que se ocupan de este aspecto. Así, por ejemplo, en el caso de los alumnos, los trabajos de Mariani y Ogborn 1991, Chi y Slotta 1993, Slotta y otros 1995, Pauen 1999, Treagust y otros 2001, Tan y otros 2005. Quizás sea en este plano donde más se pone de manifiesto el verdadero «significado» que tienen los conceptos para los alumnos. Cuando se hacen entrevistas en profundidad no se tiene la impresión de alcanzar una verdadera comprensión de lo que el alumno quiere «significar» cuando utiliza cierto vocabulario, hasta que no se alcanza el nivel ontológico (Gutierrez 1994). En este campo tampoco tenemos noticia de investigaciones realizadas desde el marco teórico ausubeliano. Y sin embargo,

parecería un lugar natural para el desarrollo de una teoría de «aprendizaje significativo»

Significatividad ontológica y epistemológica en el aprendizaje. Modelos Mentales

Donde se pone de manifiesto con más claridad la relación que existe entre el aprendizaje y las concepciones ontológicas y epistemológicas de los alumnos es en el estudio de la evolución de sus modelos mentales.

El constructo «modelo mental» es suficientemente conocido en esta audiencia como para no tener que hacer una introducción detallada del mismo⁷. Baste con decir que este concepto se crea en el ámbito de la Ciencia Cognitiva como una alternativa al concepto de «esquema», por la imposibilidad de éste para dar cuenta del «antes» y el «después» en el escenario considerado. La limitación del esquema le viene impuesta por estar dotado de un sistema de inferencia proposicional (razonamiento basado en la lógica proposicional IF...THEM), que sólo admite una capacidad explicativa y predictiva acotada dentro espacio-tiempo definido en el propio esquema⁸.

En la Figura 1 se representan los constituyentes básicos de los constituyentes básicos del modelo mental y de las relaciones que existen entre ellos.

Ante las dificultades encontradas para dar cuenta de los mecanismos subya-

⁷ Los interesados pueden consultar un resumen teórico en Moreira 1996, o en Gutierrez 1990

⁸ Cfr. Gutierrez 2005, «Introducción»

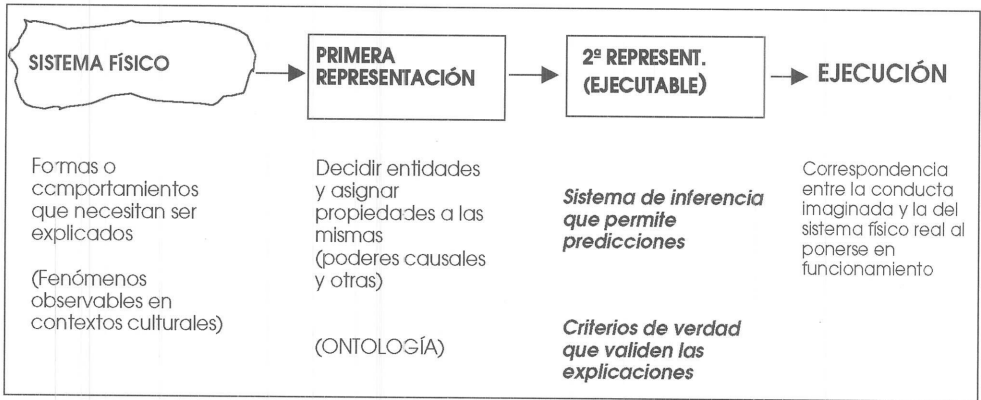


Figura 1: Elementos constituyentes del modelo mental (Gutiérrez, 05).

centes al cambio conceptual, diversos autores han recurrido a las posibilidades explicativas que ofrece este constructo. Así, por ejemplo, Slotta y otros 1995, Venville y Treagust 1998, Reiner y Gilbert 2000, Chiu y otros 2002. Todos estos autores prestan atención sólo a la descripción de la evolución de las ontologías de los diversos sistemas físicos que encontraban en los estudiantes. Pero al no tener en cuenta el conjunto de los elementos que el constructo les proporcionaba, no avanzaban demasiado en relación a los que estudiaban las creencias ontológicas *per se* y, sobretudo, seguían sin avanzar en el problema central del cambio conceptual: poner de manifiesto posibles mecanismos que lo explicasen; o lo que es lo mismo: encontrar las variables que incidiesen en esos mecanismos para provocar el cambio conceptual.

En 2001 (Gutierrez 2001) presentamos un modelo de cambio conceptual aprovechando las posibilidades ofrecidas por los modelos mentales. Estudios preliminares (Gutierrez 1994:2001, Gutierrez y Ogborn 1997, Gutierrez y Pinto 1997)

nos permitieron una sólida base para nuestra propuesta, que no es el momento de justificar⁹. El modelo aparece gráficamente representado en la Figura 2.

El modelo ONEPSI (acrónimo para «**ON**tología», «**Ep**istemología» y «**PS**icología») se ha desarrollado particularmente para sistemas físicos. En la representación gráfica aparece explicitada la relación dinámica que se establece entre los distintos constituyentes del modelo mental: si al poner en marcha mentalmente el modelo mental, no se satisfacen las condiciones de obedecer al Principio Causal y se detecta falta de coherencia, falla la *significatividad epistemológica* del mismo (capacidad predictiva), y se pone en marcha la revisión del modelo mental: modificación de la ontología del sistema (entidades elegidas y/o propiedades asignadas a las mismas), ya que lo anterior supone un fallo en la *significatividad ontológica* del modelo. Del mismo modo, si se da la significatividad epistemológica, pero el modelo no es correspondiente ni robusto, de nuevo se pone en mar-

⁹ Los interesados pueden consultar las referencias propuestas

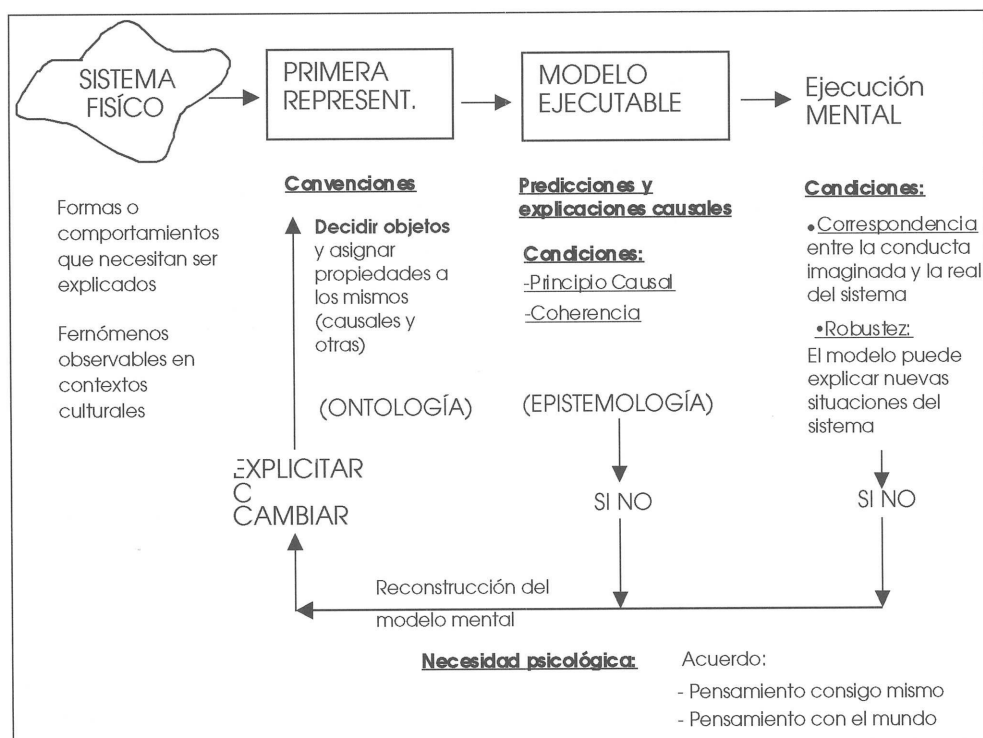


Figura 2: Modelo ONEPSI para el Cambio Conceptual (Gutiérrez 2001:38).

cha la revisión completa del modelo (significatividad ontológica y epistemológica del mismo), hasta la obtención de uno que tenga más capacidad predictiva y sirva para explicar un rango mayor de escenarios en los que funcione el modelo. El mecanismo que pone en marcha estos procesos de revisión es la necesidad psicológica de los sujetos de mantener su pensamiento de acuerdo consigo mismo y con el mundo (Piaget 1975, Sorensen 1992, Reiner y Gilbert 2000).

A modo de conclusión

Hoy día encontramos grupos de profesores y de investigadores, como el que

tenemos aquí presente, que están haciendo un gran esfuerzo de innovación en la escuela unos, y de actualizar los contenidos problemáticos de la Teoría de Ausubel otros (Cfr., por ejemplo, Moreira 2005). Creo que hay mucho trabajo hecho. Pero quizás haya que llevarlo a foros internacionales más amplios y plurales, donde se debaten, se evalúan y se hace consenso acerca de los saberes que luego pasarán a ser acervo común de nuestra Comunidad Científica internacional. Es el diálogo con otros, el debate, la sana confrontación, los que nos dicen quiénes somos, y dónde estamos situados en esa Comunidad. Hay mucho ahí fuera que espera el fruto de nuestro esfuerzo. Pero sin duda ninguna es también mucho lo que podemos aprender de otros. Aquí hemos

apuntado algunos aspectos cuya incorporación supondría una riqueza para los que investigan en la línea de trabajo del Aprendizaje Significativo. Personalmente, creo que merece la pena salir de nosotros mismos. Este es un aspecto que queda abierto para nuestro debate en esta Mesa.

Referencias

- ALBERT, E., 1979, Can Ausubel's theory of meaningful learning become an alternative to Piagetian psychology? *Science Education*, 63 (1), 135-138.
- ANDERSON, R. C., 1977, The notion of Schemata and the Educational Enterprise: General discussion of the Conference. En: Anderson, A. C., Spiro, R. J. y Montague, W. E. (eds), *Schooling and the acquisition of knowledge*. LEA. Hillsdale, NJ, p 415-431
- AUSUBEL, D. P., 1968, *Educational Psychology: A cognitive view*. Holt, Rinehart & Winston. NY. Trad. cast. de R. Helier, *Psicología Educativa: un punto de vista cognoscitivo*. Trillas. México, 1976.
- AUSUBEL, D. P., 2000, *The acquisition and retention of knowledge*. Dordrecht: Kluwer. Trad. cast. de G. Sánchez, *Adquisición y retención del conocimiento: una perspectiva cognitiva*. Paidós. Barcelona, 2002.
- BARNES, B. R. y CLAWSON, E. U., 1975, Do advance organizers facilitate learning? Recommendations for future research based on an analysis of 32 studies. *Review of Educational Research*, 45 (4), 637-659.
- CAREY, S., 1985, *Conceptual change in childhood*. The MIT Press. Cambridge, Ma.
- CAREY, S., EVANS, R., HONDA, M., JAY, E. y UNGER, C., 1989, «An experiment is when you try it and see if it works»: A study of grade 7 students' understanding of the construction of scientific knowledge. *Int. J. of Science Education*, 11 (5), 514-529.
- CARRETTO, J. y VIOVY, R., 1994, Relevé de quelques obstacles épistémologiques dans l'apprentissage du concept de réaction chimique. *Asfer*, 18, 11-26.
- CAWTHRON, E. R. y ROWELL, J. A., 1978, Epistemology and Science Education. *Studies in Science Education*, 5, 31-59.
- CHI, M. T. H. y SLOTTA, J. D., 1993, The ontological coherence of Intuitive Physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2 y 3), 249-260.
- CHI, M. T. H., SLOTTA, J. D. AND LEEUW, N. DE, 1994 From things to processes: A theory of conceptual change for learning science concepts. *Learning and Instruction*, 22 (1), 27-43.
- CHIU, M-H, CHOU, C-C AND LIU, C-J, 2002, Dynamic Processes of Conceptual Change: Analysis of Constructing Mental Models of Chemical Equilibrium. *J. of Res. in Science Teaching*, 39 (8), 688-712.
- DÉSAUTELS, J. y LAROCHELLE, M., 1998b, The epistemology of students: The «thinified» nature of scientific knowledge. En: Fraser, B. J. y Tobin, K. J. (eds), *International Handbook of Science Education*. Kluwer. London, p 115-126.
- DISESSA, A., 1993, Towards an epistemology of Physics. *Cognition and Instruction*, 10 (2 y 3), 101-225.
- DRIVER, R., GUESNE, E. y TIBERGHEN, A. (eds), 1985, *Children's ideas in Science*. Open Univ. Press. Milton Keynes, UK. Trad. cast. de P. Manzano, *Ideas científicas*

en la infancia y la adolescencia. Morata-MEC. Madrid, 1989.

DUIT, R. AND TREAGUST, D. F., 1998, Learning in Science - From behaviourism towards social constructivism and beyond. En: Fraser, B. J. y Tobin, K. J. (eds), *International Handbook of Science Education*. Kluwer. London, p 3-25.

DYKSTRA, D. I., BOYLE, R. A. AND MONARCH, I. A., 1992, Studying conceptual change in learning Physics. *Science Education*, 76 (5), 615-652.

GADNER, H., 1985, *The mind's new science*. Basic Books. NY. Trad. cast. de L. Wolfson, *La nueva ciencia de la mente*. Paidós. Barcelona, 1988.

GUTIERREZ, R. y OGBORN, J., 1997, The process of Conceptual Change. *Proceedings of the ESERA First International Conference*. Roma.

GUTIERREZ, R. y PINTO, R., 1997, Mental models of physical systems: from description to explanation. En: Oblak, S., Hribar, M., Luchner, K. and Muni, M. (eds), *New ways of teaching Physics. Proceedings of the 1996 GIREP-ICPE International Conference*. Board of Education of Slovenia. Lubiana (Slovenia), 381-384.

GUTIERREZ, R., 1987, Psicología y aprendizaje de las Ciencias. El modelo de Ausubel. *Enseñanza de la Ciencias*, 5 (2), 118-128.

GUTIERREZ, R., 1990, Aportaciones de la investigación en Inteligencia Artificial a la investigación didáctica: el modelo mental mecánico de de Kleer y Brown. En: Escudero, T. y otros, *Aspectos didácticos de la Física y Química (Física)*. 4. ICE Univ. de Zaragoza. Zaragoza, p 155-193.

GUTIERREZ, R., 1994, *Coherencia del pensamiento espontáneo y causalidad*. El

caso de la dinámica elemental. Tesis Doctoral. Universidad Complutense. Madrid. Publicada en CD-ROM: Servicio de Publicaciones de la Universidad Complutense de Madrid (ISBN: 84-669-0303-8). Madrid, 2001.

GUTIERREZ, R., 2001, Mental Models and the fine structure of Conceptual Change. En: R. Pinto and S. Surinach (eds), *Physics Teacher Education Beyond 2000*. Elsevier Editions. París, p 35-44.

GUTIERREZ, R., 2005, Polisemia actual del concepto «modelo mental». Consecuencias para la investigación didáctica. *Investigações em Ensino de Ciências*, 10 (2), paginación electrónica (16 ps). (ISSN 1518-8795). Available on line: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>> (Septiembre 2006)

HARTLEY, J. y DAVIES, J. K., 1976, Preinstructional strategies: the role of pretest, behavioral objectives, overviews and advance organizers. *Review of Educational Research*, 46 (2), 239-265.

KEIL, F. C., 1989, *Concepts, kinds, and cognitive development*. The MIT Press. Cambridge, Ma.

LAWSON, A. E., 1982, The reality of general cognitive operations. *Science Education*, 66 (2), 229-241.

LLORENS, J. A., 1988, La concepción corpuscular de la materia. Obstáculos epistemológicos y problemas de aprendizaje. *Investigación en la Escuela*, 4, 33-48.

MARIANI, C. y OGBORN, J., 1991, Towards an ontology of commonsense reasoning. *Int. J. of Science Education*, 13 (1), 69-85.

MINSKY, M., 1974, *A framework for representing knowledge*. MIT. AI Laboratory. Memo N°. 306.

- MINSKY, M., 1986, *The Society of mind*. Simon & Schuster. NY. Trad. cast. de L. Espinosa, *La Sociedad de la mente*. Galápagu. Buenos Aires, 1986.
- MOREIRA, M. A., 1996, Modelos mentais. *Investigações em Ensino de Ciências*, 1 (3), paginación electrónica. Available on line: <<http://www.if.ufrgs.br/public/ensino/revista.htm>> (Septiembre 2006)
- MOREIRA, M. A., 2005, *Aprendizaje Significativo Crítico*. Adriana M. Toigo. Porto Alegre. ISBN 85-904420-7-1.
- NICHOLLS, G. y OGBORN, J., 1993, Dimensions of children's conceptions of energy. *Int. J. of Science Education*, 15 (1), 73-81.
- NOVAK, J. D., 1985, Metalearning and metaknowledge strategies to help students learn how to learn. En: West, L. H. T. y Pines, A. L. (eds), *Cognitive structure and conceptual change*. Academic Press. London, p 189-209.
- PAUEN, S., 1999, The development of ontological categories: stable dimensions and changing concepts. En: Schnotz, W., Vosniadou, E. y Carretero, M., (eds), *New Perspectives on Conceptual Change*. Pergamon (imprint of Elsevier Science). Oxford, UK, p 15-31.
- PIAGET, J., 1975, *L'équilibration des structures cognitives. Problème central du développement*. PUF. París. Trad. cast. de E. Bustos, *La equilibración de las estructuras cognitivas*. Siglo XXI. Madrid, 1978.
- PREECE, P., 1984, Intuitive science: learned or triggered?. *Eu. J. of Science Education*, 6 (1), 7-10.
- REINER, M. y GILBERT, J. K., 2000, Epistemological resources for thought experimentation in science learning. *Int. J. of Science Education*, 22 (5), 489-506.
- ROTH, W-M. y ROYCHOUDHURY, A., 1994, Physics students' epistemologies and views about knowing and learning. *J. of Res. in Science Teaching*, 31 (1), 5-30.
- RUMELHART, D. E. y NORMAN, D. A., 1978, Accretion, Tuning, and Restructuring: Three Modes of Learning. En: R. L. Klatzky y J. W. Cotton (eds), *Semantic facts in cognition*. Lawrence Erlbaum. Hillsdale, NY, p 37-53.
- RUMELHART, D. E. y NORMAN, D. A., 1985, Representation of knowledge. En: Aitkenhead, A. M. y Slack, J. M., *Issues in Cognitive Modelling*. LEA-Open University. Londres, p 15-62.
- RUMELHART, D. E. y ORTONY, A., 1977, The representation of knowledge in memory. En: Anderson, A. C., Spiro, R. J. y Montague, W. E. (eds), *Schooling and the acquisition of knowledge*. LEA. Hillsdale, NJ. Trad. cast. de E. Rubí y S. Tarrat en *Infancia y Aprendizaje*, 19-20, 115-158, 1982.
- SCHANK, R. C. y ABELSON, R. D., 1977, *Scripts, plans, goals, and understanding*. LEA. Hillsdale, NJ. Trad. cast. de E. Gilboy y J. Zerón, *Guiones, planes, metas y entendimiento*. Paidós. B. A., 1987.
- SLOTTA, J. D., CHI, T. H. M. y JORAN, E., 1995, Assessing students' misclassifications of physics concepts: an ontological basis for conceptual change. *Cognition and Instruction*, 13 (3), 373-400.
- SORENSEN, R. A., 1992, *Thought experiments*. Oxford Univ. Press. Oxford.
- STRIKE, K. A. y POSNER, G. J., 1982, Conceptual change and science teaching. *Eur. J. of Science Education*, 4 (3), 231-240.
- TAN, K.-C. D, TABER, K. S., GOH, N.-K. and CHIA, L.-S., 2005, The ionisation energy diagnostic instrument: a two-tier multi-

ple-choice instrument to determine high school students' understanding of ionisation energy. *Chemistry Education: Research and Practice in Europe*, 6 (4), 180-197. ISSN 1109-4028. Available online: <http://www.rsc.org/images/Tanpaper_tcm18-41069.pdf> (Septiembre 2006).

TREAGUST, D. F., CHITTLEBOROUGH, G. y MAMIALA, T. L., 2001, Students' concept of models: An epistemological and ontological perspective. En: *Proceedings Western Australian Institute for Educational Research Forum 2000*. <>

TSAL, C-C., 1999, «Laboratory exercises help me memorize the scientific truths»:

a study of eighth graders' scientific epistemological views and learning in laboratory activities. *Science Education*, 83 (6), 654-674.

VENVILLE, G. J. y TREAGUST, D. F., 1998, Exploring conceptual change in genetics using a multidimensional interpretative framework. *J. of Res. in Science Teaching*, 35 (9), 1031-1055.

VOSNIADOU, S., 1994, Conceptual change in the Physical Sciences. Introduction. *Learning and Instruction*, 22 (1), 3-6.

WATTS, M., 1988, From concept maps to curriculum signposts. *Physics Education*, 23, 74-79.