

# EL ORDENADOR Y SU CONTRIBUCIÓN A LA SUPERACIÓN DE LAS DIFICULTADES DE APRENDIZAJE EN MECÁNICA\*

VALENTE, M. y NETO, A. J.,  
Universidade de Évora, 7000 Évora, Portugal.

\* Una primera versión de este trabajo fue presentada en el Encuentro "Computadores no Ensino da Física e da Química", Coimbra, 1990.

---

## SUMMARY

Some influential learning difficulties on introductory school mechanics are firstly identified. Then, a computer based approach attempting at overcoming some of these difficulties is described.

---

## 1. DIFICULTADES DE APRENDIZAJE EN MECÁNICA

La mecánica ocupa, por derecho propio, un lugar privilegiado en cualquier currículo de física escolar. Sus potencialidades formativas son innegables, aunque no siempre están adecuadamente aprovechadas.

Esa posición preferente en el currículo todavía no está acompañada por una imagen idénticamente favorable entre los alumnos ni tampoco entre los profesores. En efecto, existe un consenso entre ellos al considerar la mecánica un asunto difícil de aprender y, también, de enseñar. Esas dificultades son bien ilustradas por Ogborn (citado por Osborne y Freyberg 1989) cuando, a propósito de las leyes de Newton, afirma que:

- la 1ª ley (ley de la inercia) es increíble;
- la 2ª ley (ley fundamental de la dinámica) es incomprendible;
- la 3ª ley (ley de la acción y de la reacción) es pura cuestión de fe.

Las razones apuntadas para justificar esa relativa "opacidad" (West y Pines 1985) de la mecánica, frente a la

acción del proceso educativo formal, son múltiples y variadas. Es posible, a pesar de todo, encuadrarlas en los tres aspectos generales siguientes:

1. Existencia, a veces, de conocimientos previos en conflicto con los conocimientos que la escuela pretende transmitir. Se trata, en el fondo, de una confrontación entre dos formas diferenciadas de "ver" el mundo: una concreta, intuitiva y de sentido común (visión pregali-leana) y otra abstracta y formal (visión científica "oficial") (Gunstone 1987).
2. Desajustes entre las exigencias conceptuales, que el aprendizaje de la mecánica implica, y la capacidad cognitiva real de los alumnos. Esos desajustes pueden ser particularmente notorios en lo que respecta al dominio de las operaciones formales. En realidad, se sabe que una gran parte de los adolescentes no consigue razonar de forma efectiva a un nivel formal compatible con las necesidades cognitivas que implica cualquier acercamiento a la mecánica (Shayer y Adey 1981, Sequeira 1981)
3. Insuficiencias en el conocimiento cualitativo. De acuerdo con investigaciones recientes, éste constituye

un requisito fundamental y substantivo para la asimilación del conocimiento cuantitativo y de la resolución de problemas (Larkin 1980). En este sentido, para tener acceso a la cuantificación, o sea, para operar con fórmulas de un modo significativo, el alumno necesita poseer una sólida base de conocimiento cualitativo; "sin ella, es posible que sepa fórmulas sin, todavía, saber física" (Jung 1985).

## 2. CONTRIBUCIONES A LA SUPERACIÓN DE DIFICULTADES DE APRENDIZAJE EN CURSILLOS INTRODUCTORIOS DE MECÁNICA

La superación de obstáculos de aprendizaje en mecánica, del tipo de los que han sido identificados en el punto anterior, exige recurrir a aproximaciones bien distintas de las que tradicionalmente han sido adoptadas. En esta perspectiva, y en el ámbito de las actividades de orientación de prácticas pedagógicas de física y química de formación inicial<sup>1</sup>, los autores han intentado desarrollar estrategias susceptibles de complementar propuestas sugeridas por otros autores (Thomaz y Vasconcelos 1989).

Los presupuestos básicos en que apoyamos esas estrategias son, fundamentalmente los siguientes:

1. Necesidad de tener en cuenta los *conocimientos previos* de los alumnos sobre los conceptos de mecánica, intentando encontrar formas didácticas que, además de hacerlos emerger, permitan el establecimiento, cuando sea necesario, del puente entre esos conocimientos y el conocimiento formal (Ausubel et al. 1978).

2. Elección de *aproximaciones semicualitativas*, frente a aproximaciones cuantitativas precoces apoyadas en la "metodología de la superficialidad" a la que se refieren Gil Pérez y Carrascosa (1985).

3. *Adecuación* de las estrategias, de los contenidos y de los lenguajes a las *competencias cognitivas* de los alumnos, intentando, de este modo, alcanzar lo formal y abstracto a partir de lo intuitivo y concreto. Se pretende, así, tener en cuenta el principio de la "formalización progresiva y coherente", preconizado por Guidoni (1989) en su propuesta para la enseñanza de la mecánica. El autor aboga por la "*conversión* de la actual *transposición didáctica* del saber en una *dinámica didáctica* capaz de asegurar el ajuste progresivo entre las estructuras del pensamiento del alumno y las estructuras formales de la disciplina".

4. Identificación de los conceptos, principios y relaciones cuantitativas (fórmulas) más relevantes, procurando establecer conexiones naturales entre ellos, a través de la técnica de los *mapas de conceptos* (Novak y Gowin 1984, Novak 1990, Pankratius 1990). Se evita, así, abordar la mecánica de una forma fragmentada y conceptualmente pulverizada, prefiriéndose un abordaje capaz de hacer resaltar la "ecología conceptual" envolvente (Domènech et al. 1989). Por otro lado, se intenta, también, concienciar

a profesores y alumnos sobre las implicaciones pedagógicas resultantes de la diversidad de lógicas de organización presentes en el acto educativo: la lógica de la asignatura, la del currículo, la de quien enseña, la de quien aprende y de cómo exterioriza lo que aprendió (Neto y Almeida 1990)

En el Anexo se presenta un ejemplo de los mapas de conceptos a los que nos hemos referido antes. Con este tipo de diagramas, además, el profesor puede ser consciente de la necesidad de diferenciar claramente los conceptos en estudio y de llevar a los alumnos a hacerlo.

Este aspecto de la diferenciación de los conceptos constituye una de las situaciones en que nos pareció especialmente pertinente el uso del ordenador. Así, éste aparece como un soporte didáctico complementario de otros que ya utilizamos. A continuación, pasamos a analizar la función pedagógica del ordenador en la estrategia desarrollada para la introducción a la mecánica.

### 2.1. La contribución del ordenador

Hoy en día, el profesor dispone de una gran variedad de medios auxiliares de enseñanza que potencialmente simplifican el aprendizaje. A pesar de todo, la gran mayoría de los profesores apoya su acción en un número restringido de estos medios, quedando, de esta forma, el proceso educativo substancialmente empobrecido (Taylor 1988). Dado que los estilos de aprendizaje de los alumnos de una clase son diferentes, la probabilidad de que el mensaje del profesor sea captado y aprendido por todos ellos será reducida si el profesor utiliza estilos y medios de enseñanza en número igualmente reducido.

El ordenador es, actualmente, un serio candidato para incrementar la diversidad didáctica implícitamente preconizada en el párrafo anterior. Debido a su versatilidad y a su gran capacidad de procesamiento y cálculo, el ordenador podrá facilitar la utilización de nuevas estrategias, complementando o suprimiendo las lagunas de las estrategias tradicionales.

Con esto, no pretendemos afirmar que "se haya encontrado la poción milagrosa para todos los males de la educación" (Dias Figueiredo 1989); pretendemos, eso sí, sugerir que, además de la indiscutible influencia en la sociedad, los ordenadores tienen un papel a desempeñar como instrumentos enriquecedores de las estrategias pedagógicas escolares.

Fue en esta perspectiva que decidimos recurrir al *soporte lógico cinemática*<sup>2</sup> (ver descripción en anexo; GEP 1990), desarrollado por el Polo del Proyecto Minerva de la FCT de la Universidade Nova de Lisboa. Se trata de un programa de simulación estroboscópica que, además de la simulación en sí, permite también visualizar representaciones gráficas y las tablas asociadas a ellas.

Por soportes lógicos de simulación, entendemos aquéllos en los que se verifica la representación de la realidad, con posibilidad de alteración de los parámetros que intervienen. Con ellos, es posible responder a cuestiones del tipo:

"¿Qué sucedería si...?" Esos soportes lógicos de simulación están siendo utilizados de forma creciente, con resultados positivos, en la enseñanza de la mecánica (Del Barrio y Morales García 1989).

La validez didáctica de este tipo de programas informáticos depende del profesor que los va a utilizar. En nuestro caso, y en lo que respecta al programa CINEMÁTICA, exploramos, sobre todo, las posibilidades que se indican a continuación:

### 2.2.1. Control de variables

Se trata de una operación fundamental en física, pero, al mismo tiempo, es cognitivamente problemática. El alumno sólo consigue entender cuál es el universo de validez de una ley física si es capaz de identificar las variables que deben ser controladas para su establecimiento. Por otro lado, para estudiar el efecto de una variable en otra variable, el alumno tiene que sentir, conscientemente, la necesidad de fijar los otros parámetros que intervienen en la situación.

Está claro que esta competencia cognitiva puede ser estimulada mediante otros tipos de situaciones didácticas, en particular a través de experimentos directos de laboratorio. Sin embargo, la preocupación que genera el proceso de medición asociado a los experimentos es tan absorbente que el alumno, totalmente concentrado en el proceso, se ve obligado a descuidar otro tipo de competencias importantes.

Evidentemente, no defendemos la sustitución de la experimentación directa por la experimentación simulada. Tampoco defendemos, sin embargo, el mito de la experimentación por la experimentación, ya que, cuando se efectúa según los moldes tradicionales del mero recetario procesal, no conduce a logros de aprendizaje significativos.

### 2.2.2. Concienciación de los límites de validez de los modelos físicos

Es importante llevar al alumno a tener conciencia de los límites de validez del modelo con que trabaja. Debe comprender que el modelo constituye una representación parcial de la realidad, una mera caricatura de la misma realidad.

En nuestro caso, cuando utilizamos el programa CINEMÁTICA, sólo podíamos simular movimientos rectilíneos uniformes o uniformemente variados. Se trata de situaciones poco corrientes, ya que los movimientos naturales no obedecen, en general, a leyes tan simples. El modelo simulado constituye, por tanto, una aproximación de una realidad más compleja.

### 2.2.3. La importancia de las representaciones múltiples

El papel positivo de las multirrepresentaciones en el aprendizaje ha sido resaltado por los investigadores que trabajan en el dominio del cambio conceptual (West y Pines 1985).

La multirrepresentación está relacionada con la utilización de lenguajes distintos para explicar y representar el mismo fenómeno. En el caso de la mecánica, existe una diversidad de lenguajes en liza: el lenguaje verbal (técnico y no técnico), el lenguaje matemático (escalar y vectorial), el lenguaje gráfico y el lenguaje icónico (estática y cinética). Es muy probable que, en la mente del alumno, ocurran interferencias entre otros tipos de lenguajes. De ellas pueden resultar serios impedimentos de aprendizaje. Por esta razón, se hace imprescindible establecer estrategias que minimicen los efectos negativos de estas interferencias. Tales estrategias deben llevar al alumno a discriminar claramente los diversos lenguajes y a ser capaz de traducirlas entre sí.

El programa CINEMÁTICA puede constituir un soporte adecuado a las estrategias de este tipo. En efecto, su uso permite enfrentar al alumno simultáneamente, con tres tipos diferentes de representaciones: la representación icónica asociada a la materialización estroboscópica de la trayectoria; la representación numérica tabulada; y la representación gráfica de las variables posición, velocidad y aceleración en función del tiempo.

Además, las representaciones que el programa suministra tienen un carácter dinámico. Éstas tienen lugar en función del tiempo, requisito que permite el análisis comparativo, momento a momento, de las relaciones que establecen entre sí. De esta forma, el alumno tiene la oportunidad de visualizar la evolución del mismo fenómeno encarada según perspectivas distintas pero equivalentes.

### 2.2.4. La importancia de los valores iniciales y de la previsión de los acontecimientos

Para prever la evolución de un sistema es necesario conocer los valores iniciales. Éste fue uno de los aspectos que el programa nos permitió explorar y realzar. De esta forma, se intentó que los alumnos tomaran conciencia de que para diferentes valores iniciales de los parámetros cinemáticos se obtienen movimientos con características diferentes.

También, se habituó a los alumnos a emitir previsiones a partir de un conjunto de valores iniciales previamente escogidos. Los alumnos eran incentivados a contrastar lo que habían previsto con lo que, posteriormente, sucedía en la pantalla del ordenador.

La previsión de los acontecimientos es fundamental para el desarrollo de la "intuición física" de los alumnos y puede ser combinada con la exploración de representaciones externas de los fenómenos. Éstas, al estimular la construcción de modelos mentales de la realidad física, contribuyen al fortalecimiento de la intuición (Bork 1978).

### 2.2.5. Diferenciación entre trayectoria y gráfico posición-tiempo

El programa CINEMÁTICA, al simular la trayectoria de una partícula al mismo tiempo que traza el correspondiente gráfico posición-tiempo, permite que el alumno

se dé cuenta de la diferencia entre estas dos entidades físicas. La distinción puede ser particularmente realizada en el caso de que el movimiento simulado sea rectilíneo y uniformemente variado. El ordenador simula una trayectoria rectilínea, mientras que, simultáneamente, la representación gráfica, visualizada en el ordenador, es curvilínea.

### 2.2.6. Diferenciación entre posición y velocidad

Los alumnos tienen, muchas veces, la idea de que dos cuerpos que pasan uno al lado del otro, en la misma dirección y sentido, tienen, en el punto de encuentro, la misma velocidad. Además, asocian el "ir delante" con el "ir más deprisa" (Trowbridge y McDermott 1980).

El programa CINEMÁTICA posibilita el esclarecimiento de la confusión subyacente en esas ideas. De hecho, al permitir una simulación simultánea de dos movimientos y el control de las velocidades e instantes de partida, facilita que los alumnos diferencien claramente los conceptos de posición y velocidad. Esto es posible a partir del momento en que entienden que dos cuerpos sólo tienen la misma velocidad cuando las distancias entre ellos se mantienen inalteradas.

### 2.2.7. Clasificación de los movimientos

En la mayor parte de los casos, se pide a los alumnos que clasifiquen los movimientos en base a los valores tabulados de velocidad y aceleración. Aunque es un procedimiento útil, puede conducir a la mecanización de procesos y se apoya en conceptos alejados de la realidad. Es fácil de entender que los conceptos de posición, velocidad y aceleración siguen, por este orden, una jerarquización progresiva en función de su grado de abstracción y de su consiguiente alejamiento de la realidad física palpable.

En esta perspectiva, es útil y formativo que, siempre que sea posible, el alumno intente caracterizar los movimientos. Puede utilizar, con este fin, el registro visual de las posiciones ocupadas y de las distancias recorridas, teniendo en cuenta los intervalos de tiempo que les corresponden. Es un hecho conocido la dificultad que la mayor parte de los alumnos tienen en realizar esta

operación. Mediante el programa CINEMÁTICA, es posible, a pesar de todo, superar estas dificultades.

## 3. CONSIDERACIONES FINALES

Las potencialidades de los soportes lógicos de simulación en la enseñanza-aprendizaje de la mecánica son, según nuestro punto de vista, incuestionables. La muestra de situaciones en que dichos soportes han sido utilizados, nos parece, a este respecto, significativa.

En cuanto a su impacto real en el aprendizaje de los alumnos, y tal como sucede en la bibliografía, no podemos, en este momento extraer conclusiones definitivas ya que no se ha procedido a una evaluación rigurosa del experimento. Aun así, estamos seguros de que, mediante este tipo de soportes, es posible minimizar algunos de los desajustes cognitivos a los que nos hemos referido anteriormente. En la realidad, las simulaciones, situando al alumno en un mundo intermedio entre lo concreto y lo abstracto (mundo "abscreto", para utilizar la sugestiva ficción crada por Hebenstreit en 1988) permiten a éste establecer, más fácilmente, el puente entre la fase concreta de su desarrollo y la fase formal.

Además, los soportes lógicos de simulación pueden prestar una valiosa contribución en la construcción y consolidación del conocimiento cualitativo. Éste, como anteriormente asumimos, es crucial para la comprensión significativa del conocimiento cuantitativo. Esta contribución fue, en nuestro caso concreto, particularmente útil en la fase inicial de la consolidación de los conocimientos básicos. Toda nuestra estrategia tenía subyacente el principio de que era preferible "quemar tiempo" en esta fase inicial, con la seguridad de que posteriormente será recuperado. Las indicaciones que, en este sentido, se han recogido del núcleo de prácticas con el cual trabajamos, apuntan hacia la exactitud de este principio. Los resultados obtenidos muestran que inicialmente el proceso parecía avanzar a un ritmo demasiado lento. Al final, y a medida que se pasaba progresivamente hacia una fase más cuantitativa y formal, el ritmo aumentaba casi naturalmente.

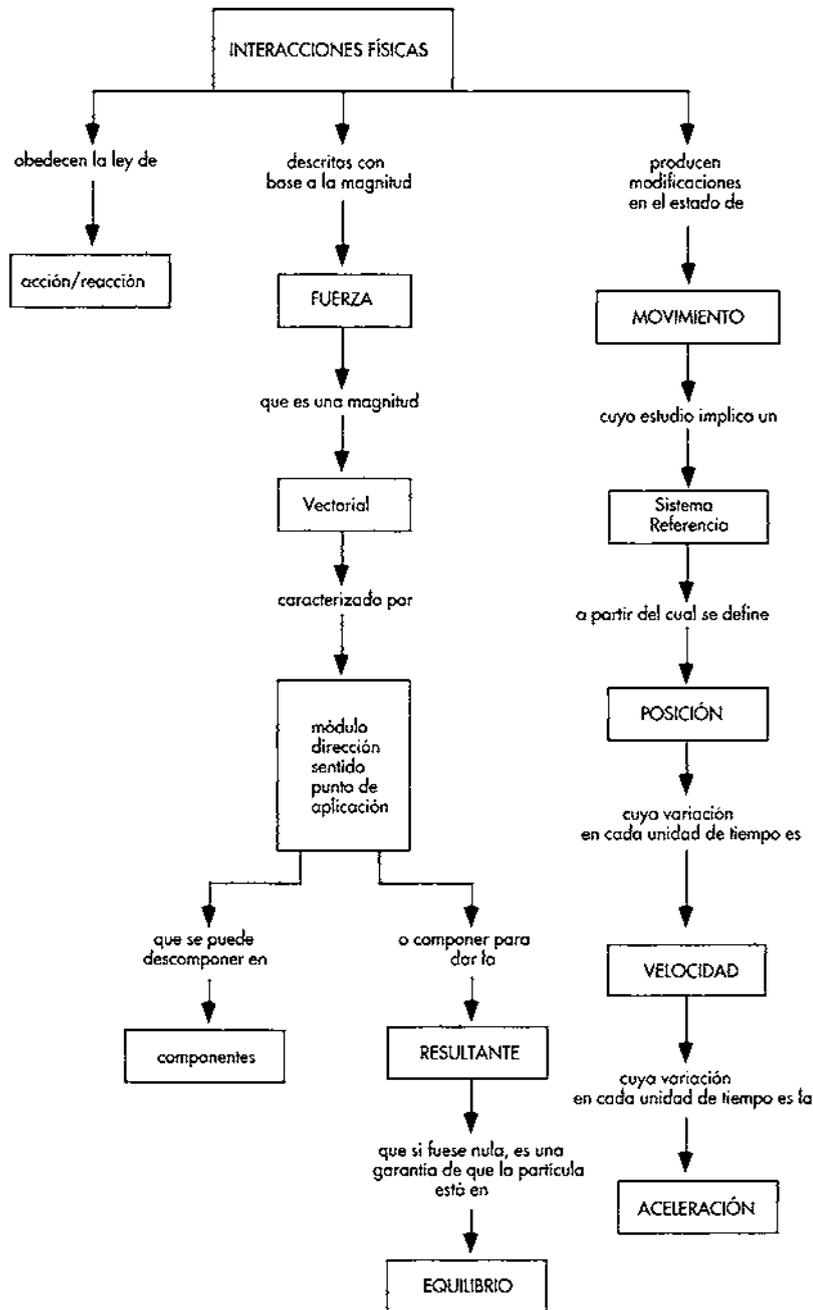
## NOTAS

1. Los autores se refieren a trabajos desarrollados, tras concluir su licenciatura, por profesores en prácticas.

2. Este programa, en la medida en que permite la diferenciación de los conceptos, puede representar un valioso soporte de cualquier estrategia basada en la organización del conocimiento, constituyendo, por tanto, un buen complemento de las potencialidades de los mapas de conceptos.

• Este artículo ha sido traducido del original portugués.

ANEXOS



DESCRIPCIÓN DEL PROGRAMA CINEMÁTICA

Este programa fue concebido para ser utilizado en la asignatura de Física y Química del décimo año de escolaridad. Permite la simulación de los movimientos rectilíneos de una o dos partículas, pudiendo observarse, si el usuario así lo desea, representaciones estroboscópicas en lugar de simulaciones del movimiento. El programa permite igualmente la observación de gráficos (posición, velocidad y aceleración en función del tiempo) relativos al movimiento de las dos partículas o de una tabla de

valores. Una de las características del programa, que hace que su utilización sea extremadamente flexible, es la posibilidad de que el usuario vea en la pantalla lo que pretende: movimiento de la(s) partícula(s) y/o gráfico de posición y/o velocidad y/o gráfico de aceleración. Dispone, por lo tanto, de la posibilidad de ver en la pantalla únicamente la información que desea en un determinado momento.

Este programa puede ser utilizado en una estrategia de enseñanza de la Cinemática y de la Dinámica del tipo cíclico, p.e.: una estrategia que engloba fases de demostración por el profesor e investigación en el laboratorio, simulación por ordenador, nuevamente demostración en el laboratorio, nuevamente simulación por ordenador, etc.

Una de las grandes dificultades de la Cinemática es la de construir e interpretar gráficos. Esta dificultad está relaciona-

da con el hecho de que los gráficos se refieren a situaciones que tienen lugar en un cierto intervalo de tiempo pero surgen en el papel de una forma estática, «ya hecho». Con el programa CINEMÁTICA, el alumno puede observar la construcción de los gráficos mientras ocurre el movimiento. Puede, si así lo desea, observar simultáneamente el movimiento y la construcción de los gráficos. De este modo, se facilita un aprendizaje por contraste entre lo real (p.e., el movimiento) y la representación de lo real a través de los gráficos (GEP 1990).

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AUSUBEL, D.P., NOVAK, J.D. y HANESIAN, H., 1978. *Educational Psychology: A Cognitive View* (2ª ed.). (Holt, Rinehart and Winston: Nueva York).
- BORK, A., 1979. Computers as an aid to increasing physical intuition, *American Journal of Physics*, 60 (8), pp. 796-800.
- DEL BARRIO, F.J. y MORALES GARCÍA, J.A., 1989. ¿Pueden ayudar las simulaciones con ordenador a provocar en los alumnos un cambio en sus ideas sobre mecánica?, *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra (III Congreso), Tomo 1, pp. 129-130.
- DIAS FIGUEIREDO, A., 1989. Computadores nas escolas. *Colóquio/Ciências*, Fundação Calouste Gulbenkian, pp. 76-89.
- DOMÈNECH, J.L., GIL PÉREZ, D. y MARTÍNEZ TORREGROSA, J., 1989. La reconstrucción de la síntesis newtoniana como requisito para un cambio conceptual efectivo en mecánica, *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra (III Congreso), Tomo 1, pp. 179-180.
- GEP, 1990. *Manual do Suporte Lógico Educativo «Cinemática»*. (GEP, Ministério da Educação: Lisboa).
- GIL PÉREZ, D. y CARRASCOSA, J., 1985. Science Learning as a conceptual and methodological change, *European Journal of Science Education*, 7 (3), pp. 231-236.
- GUIDONI, P., 1989. Explicar y entender: un esquema alternativo para la presentación de la mecánica clásica a todos los niveles, *Enseñanza de las Ciencias*, Número Extra (III Congreso), Tomo 2, pp. 29-32.
- GUNSTONE, R.F., 1987. Student understanding in mechanics: a large population survey, *American Journal of Physics*, 55 (8), pp. 691-697.
- HEBENSTREIT, J., 1988. Computers and education - an encounter of the third kind, en F. Lovis y E.D. Tagg (eds.), *Computers in Education*. (ECCE 88: North-Holland).
- JUNG, W., 1985. *Uses of cognitive science to science education*. Paper presented to the ATEE Symposium on the implications of cognitive science for the education of science teachers, Kiel, August.
- LARKIN, J. H., 1980. Teaching problem solving in physics: the psychological laboratory and the practical classroom, en D. T. Tuma y F. Reif (eds.), *Problem Solving and Education*. (Lawrence Erlbaum Associates: New Jersey).
- NETO, A.J. y ALMEIDA, M., 1990. Conhecimento, lógicas de organização y rendimento escolar, *O Professor*, 12 (3ª serie), pp. 40-51.
- NOVAK, J. D. y GOWIN, D.B., 1984. *Learning how to Learn*. (Cambridge University Press: Cambridge).
- NOVAK, J.D., 1990. Concept mapping: a useful tool for science education, *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (10), pp. 937-949.
- OSBORNE, J. y FREYBERG, J., 1989. *Teaching Physics - A Guide for the Non-Specialist*. (Cambridge University Press: Cambridge).
- PANKRATIUS, W.J. 1990. Building an organized knowledge base: concept mapping and achievement in secondary school physics, *Journal of Research in Science Teaching*, 27 (4), pp. 315-333.
- SEQUEIRA, M., 1981. Padrões de raciocínio em alunos portugueses: implicações para o curriculum y ensino das ciências na escola secundária, *Aprendizagem y Desenvolvimento*, 1(3), pp. 39-50.
- SHAYER, M. y ADEY, P., 1983. *Towards a Science of Science Teaching*. (Heinemann: Londres).
- TAYLOR, E.F., 1988. Learning from computers about physics teaching, *American Journal of Physics*, 56 (11), pp. 975-980.
- THOMAZ, M.F. y VASCONCELOS, N., 1989. A introdução à mecânica no ensino secundário, *Gazeta de Física*, 12 (1), pp. 16-26.
- TROWBRIDGE, D. y McDERMOTT, I.C., 1980. Investigation of understanding of the concept of velocity in one dimension, *American Journal of Physics*, 49 (3), pp. 242-253.
- WEST, L. y PINES, A., 1985. *Cognitive Structure and Conceptual Change*. (Academic Press: Orlando).