



Perfiles Educativos

Universidad Nacional Autónoma de México

Centro de Estudios sobre la Universidad

perfiles@servidor.unam.mx

ISSN 0185-2698

MÉXICO

1993

Fernando Flores / Leticia Gallegos

CONSIDERACIONES SOBRE LA ESTRUCTURA DE LAS
TEORÍAS CIENTÍFICAS Y LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA.

Perfiles Educativos, octubre-diciembre, número 62

Universidad Nacional Autónoma de México

México D. F.



PERFILES EDUCATIVOS

CONSIDERACIONES SOBRE LA ESTRUCTURA DE LAS TEORIAS CIENTIFICAS Y LA ENSEÑANZA DE LA CIENCIA

Fernando Flores*
y Leticia Gallegos*

Resumen

Aproximación a la problemática de la enseñanza de las ciencias desde las perspectivas cognoscitiva y epistemológica. Se parte, en primer lugar, de la consideración de que la construcción de los conocimientos científicos de los estudiantes conlleva una interpretación radicada en el estudiante y, en segundo, de la estructura de la ciencia. La relación entre las dos perspectivas permite modelar un esquema de interpretación con base en los trabajos de Sneed y Stegmuller sobre la estructura de las teorías científicas. Finalmente, hace una comparación entre los modelos fenomenológicos y teóricos de los estudiantes y los modelos posibles y parcialmente posibles de la estructura de la teoría científica.

Introducción

La enseñanza de las ciencias es uno de los rubros en el que los países desarrollados han puesto un gran empeño, tanto en el desarrollo de proyectos curriculares, como de estrategias de enseñanza, de laboratorios escolares, así como en la investigación sobre formación de conceptos y procesos cognoscitivos. Con estos desarrollos se han puesto de manifiesto los múltiples problemas que presenta el aprendizaje de los conocimientos científicos, como también algunos enfoques y estrategias que pueden coadyuvar al aprendizaje de las ciencias. En México, los esfuerzos en esta dirección han sido escasos y por lo general de corto alcance (en el Centro de Instrumentos de la UNAM se han desarrollado dos proyectos que involucran la fabricación de materiales experimentales para la enseñanza en el nivel básico, estos son: el proyecto Revisión Crítica y Mejoramiento de la Experimentación en Física en el Nivel Primario 1983-1986 y el Proyecto Integrado de Ciencias Naturales para el Sexto Grado de Primaria 1986-1990, así como equipo de laboratorio para la Enseñanza de la Física en el Ciclo del Bachillerato). Por otro lado, no hay tradición en los sectores educativos que promueva la investigación sobre la enseñanza de la ciencia, como tampoco una cultura científica que propicie la aplicación de nuevas estrategias, prevaleciendo la enseñanza verbal de contenidos como el principal recurso didáctico. Ahora bien, la investigación sobre formación de conceptos ha mostrado que los niños general concepciones (Driver, 1986; Viennot, 1979) que son por lo general diferentes a las científicas y que no son modificadas por la acción escolar (Champagne, Gunstone, Klopfer, 1985; Hewson 1990). El estudiante genera así dos "esferas" inconexas de conocimiento, una desarrollada en el contexto de su vida cotidiana y otra en el contexto escolar, que por lo general también se desarrollan en paralelo y sin

PERFILES EDUCATIVOS

coincidencia alguna entre ellas (Pines y West 1985). En las escuelas, la enseñanza experimental es prácticamente inexistente, a pesar del énfasis que se pone en la necesidad de la interacción fenomenológica directa por parte de las concepciones constructivistas del aprendizaje. Algunos de los problemas que se han generado con las prácticas usuales de la enseñanza de las ciencias son:

- Simplificación y modificación de conceptos que coadyuvan al desarrollo de errores conceptuales.
- Estructuración de contenidos sin tomar en cuenta el nivel de desarrollo de los estudiantes.
- En el mejor de los casos, se realizan algunos experimentos escolares aislados.
- Concepción memorística del aprendizaje.
- Descontextualización de los conceptos científicos con las representaciones propias de los estudiantes.

La investigación en la enseñanza de las ciencias naturales, enfocada desde su perspectiva cognoscitiva, ha generado entre otros los siguientes tres problemas: a)¿Cómo se generan en el estudiante las concepciones previas? b)¿Qué las hace invariantes a la acción escolar? y c)¿Cómo es posible modificarlas? Para aproximarse a este tipo de problemas es necesario tomar en cuenta las relaciones entre aspectos epistemológicos y cognoscitivos (López Rupérez,1989) y la estructura de las teorías científicas (Flores y Gallegos, 1989). Comenzaremos por el análisis de la estructura de las teorías científicas.

Las teorías científicas

“El conocimiento científico no es solamente el discurso acerca de un objeto, es también la elaboración del discurso”, G. Granger (1983). Esta frase de alguna manera sintetiza la construcción de las teorías científicas. Las teorías científicas han evolucionado de formas diversas en los distintos campos de las ciencias naturales. Un análisis histórico nos muestra las etapas de construcción y formalización, así como los cambios de concepciones que han tenido lugar y que, como describe T.S. Kuhn (1971), han dado lugar a verdaderas revoluciones en la construcción del conocimiento científico; esto implica una construcción dinámica que se transforma tanto conceptual como estructuralmente. Por ello, en la generación de una cultura científica y tecnológica a través de la educación, es necesario incorporar en los procesos educativos algunas características propias de las teorías científicas y su desarrollo con los procesos de conocimiento. Esto no significa un paralelismo entre el desarrollo histórico y el desarrollo cognoscitivo del estudiante, sino incorporar algunos aspectos estructurales de la teoría para que los conceptos sean establecidos por los estudiantes en función de sus procesos y desarrollo cognoscitivo. Es importante, entonces, considerar aquellos aspectos que son elementos constitutivos de las teorías para que sirvan de guía a la actividad constructiva del conocimiento en el alumno. Un primer aspecto a determinar es la naturaleza dual que tienen los conceptos científicos.

PERFILES EDUCATIVOS

A partir de los trabajos epistemológicos sobre la estructura de las teorías científicas, como los planteados por R. Carnap (1986) y J. Sneed (1979), se han establecido dos clases de conceptos: a) los términos fenomenológicos, esto es los que están directamente ligados a la experiencia del sujeto y que son términos como desplazamiento, fuerza, equilibrio, respiración reacción química, etc., estos términos se refieren a la descripción del fenómeno o suceso; b) los términos teóricos, por su parte han sido construidos para dar coherencia a las explicaciones y sirven como referentes estructurales de las teorías, como ejemplos podemos citar los conceptos de campo eléctrico, entropía, fotosíntesis, enlace covalente, etcétera. Lo anterior plantea un problema de significatividad, puesto que no sólo se tiene que asignar significado a los aspectos fenomenológicos, sino que los términos teóricos cobran sentido en función de las relaciones formales de la estructura y operación de la teoría científica particular. Como puede apreciarse, los términos fenomenológicos son elaborados como descriptores de la experiencia, esto es de la interacción directa con los fenómenos y sólo cobran significación si se tiene esta interacción fenoménica o se puede reconocer de otras experiencias directas. Por su parte, los términos teóricos, si bien son construcciones o constructos elaborados a partir de la necesidad de explicación de los procesos observados, sólo cobran sentido dentro de las relaciones precisas que pueden establecerse con los términos fenomenológicos y a partir de requisitos lógicos y formales del modelo que constituye la teoría (Flores, C.F., 1986). Así como apunta Bunge (1986), las teorías, por ejemplo la física, contienen imposiciones semánticas (hipótesis interpretativas) con las que se da significado a los símbolos, constituyéndose las teorías en formalismos interpretativos, lo que implica la necesidad de incorporar aspectos o elementos estructurales a los modelos teóricos, que permitan la interpretación de distintas situaciones fenoménicas. Por ejemplo, si sólo contáramos con términos como temperatura, capacidad calorífica, calor, energía interna, etc., no podríamos decir nada acerca de un proceso como el de mezcla de sustancias a diferentes temperaturas. Por lo anterior, es necesario contar con reglas de correspondencia y de deducibilidad que permitan la elaboración de hipótesis y explicaciones. Estas reglas de correspondencia tienen una representación simbólica operativa y están sujetas a formalismos matemáticos o lógicos (Stegmueller, 1979).

Con las reglas de correspondencia y los términos teóricos y fenomenológicos, pueden establecerse deducciones, afirmaciones y en general contar con reglas específicas para cada campo de conocimiento de las ciencias. Los elementos apuntados son constituyentes estructurales de las teorías científicas, pero falta decir algo acerca de la formación o construcción de los conceptos científicos en una perspectiva de aprendizaje.

Construcción conceptual y aprendizaje

Al tratar de abordar la construcción del conocimiento nos encontramos como primer punto con la interacción del sujeto y los procesos que percibe. Pero no es una interacción pasiva, por el contrario, es activa por lo menos en dos sentidos, uno de sobreimposición en los procesos para determinar sus relaciones y otro a

PERFILES EDUCATIVOS

nivel de la actividad estructurante del sujeto (Piaget, 1975). En efecto, no podemos pensar en una actitud contemplativa, donde el sujeto se remite a percibir sensorialmente una circunstancia determinada. Así, ante algún proceso es necesaria la participación del sujeto como diferenciador de características de los elementos que intervienen, así como de secuencias de sucesos, relaciones de tipo funcional, de analogías, etc., que permiten prever situaciones experimentales. Cuando el sujeto o en nuestro caso el estudiante se enfrenta ante un proceso natural se enfrenta con su entorno que representa el contexto en el que se desarrolla el proceso, esto es, con una ecología conceptual (Strike y Posner, (1985) que le permite percibir la fenomenología a partir de sus conocimientos previos, creencias, supuestos inferenciales, etc. y, así, asignar dentro de este contexto, un significado al evento. Con relación a las concepciones previas o preconcepciones de los estudiantes, se han elaborado principalmente dos concepciones. En una, Pines y West (1986) proponen una construcción global, esto es que el sujeto construye un sistema coherente que le permite interpretar un cierto ámbito de la realidad con una visión totalizadora. El caso de lo que se ha identificado como visión aristotélica de los procesos dinámicos en los estudiantes, es un claro ejemplo de este punto de vista. Por otro lado, se presenta una concepción que podemos denominar parcializada de los conceptos, que cobran significado sólo cuando pueden ser integrados ante la necesidad de la explicación (Di Sessa, 1988). En este caso, a partir de concepciones aisladas y correspondientes a cierta realidad fenoménica, el sujeto la interpreta, integrando estas concepciones por medio de relaciones que se establecen en función del contexto conceptual. En ambos casos, se ponen en juego dos aspectos. El primero, el nivel de desarrollo cognoscitivo del estudiante y el segundo, el nivel de estructura de sus concepciones. Debe cuidarse de no considerar el desarrollo cognoscitivo como una especie de freno u obstáculo que impide la comprensión de cierto tipo de conceptos científicos, sino considerar que sus características determinan el punto de partida sobre la cual construir la propuesta de aprendizaje.

La experimentación en clase es uno de los elementos más importantes para la elaboración de conocimiento y de las propias estructuras de conocimiento. En la experimentación confluyen varios elementos que son significativos para el aprendizaje de las ciencias naturales. Por ejemplo, la generación de procesos y procedimientos que determinen las cantidades, en la medición de las variables involucradas, así como el establecimiento de diferenciaciones y de las hipótesis necesarias para determinar las variables y la manera en la que intervienen en los fenómenos. Debe considerarse, como apunta Heisenberg (1966), una concepción intrateórica de la experimentación. En la interacción con los procesos naturales, intervienen en el estudiante, en distinto grado, la mayor parte de los factores de una construcción cognoscitiva como el establecimiento de relaciones funcionales y causales, procesos de clasificación, de significación simbólica, de comparación con concepciones previas, etc. Estos factores se autorregulan dentro del marco del nivel de formalización en que se encuentren para interaccionar con dicha fenomenología. No debe esperarse, con lo anterior, que el estudiante elabore los conceptos y las relaciones entre ellos por la sola realización de una actividad experimental. Se requiere de secuencias de experimentos escolares y de apoyos

PERFILES EDUCATIVOS

para la formación de conceptos. No debemos perder de vista que la formación conceptual es un proceso de relativamente largo plazo, en donde interviene el propio desarrollo cognoscitivo del estudiante y los procesos de cambio conceptual, que como apunta la reciente investigación educativa, es uno de los principales obstáculos para el aprendizaje de la ciencia, por la resistencia natural al cambio que presentan las concepciones espontáneas o preconcepciones de los estudiantes. Además, con relación a los términos teóricos, se requiere de un proceso de abstracción, dentro de un marco formalizado que entre sus elementos principales podemos apuntar:

- Establecimiento de relaciones causales.
- Establecimiento de principios y axiomas.
- Descripción simbólica con reglas que permitan elaboraciones exentas de contradicciones.

Las elaboraciones teóricas no son estáticas y requieren de un proceso de formación, con base en una continua interacción con los procesos fenomenológicos y con el establecimiento de nuevas relaciones entre los conceptos, para ampliar el dominio explicativo de la teoría. Este aspecto es sumamente importante en el contexto educativo, puesto que el aprendizaje de los conceptos requiere de pasar por estas etapas y reconocerse que el dominio de competencia, por ejemplo en las actividades y problemas escolares, sufrirá transformaciones. Además de estos aspectos constructivos del aprendizaje de los conceptos científicos, se encuentran implícitos los aspectos normativos que están principalmente en función de la coherencia en las descripciones y explicaciones, y que se sujetan a las reglas de correspondencia como se ha mencionado.

Una aproximación con base en la teoría de modelos

Hemos apuntado algunos de los elementos del lenguaje y estructura de las teorías científicas y algunos aspectos que la investigación educativa ha puesto de manifiesto y que muestran los problemas centrales en el aprendizaje de la ciencia desde su perspectiva cognoscitiva. Por otro lado, se ha apuntado la necesidad en el análisis epistemológico de no disociar en la enseñanza de la ciencia estos aspectos estructurales y la formación de conceptos científicos en el estudiante. Una aproximación que en principio permite establecer esta relación entre formación conceptual y estructural en el aprendizaje y que tome en cuenta las condiciones cognoscitivas del estudiante (fundamentalmente en la formación de preconcepciones y el proceso de cambio conceptual), la encontramos en un modelo basado en los trabajos de J. Sneed (1979) y W. Stegmüller (1979) sobre la estructura y dinámica de las teorías. El primer punto a considerar es la representación y/o conceptualización del estudiante elaborada sobre un aspecto particular o fenomenología específica. Esta consideración está de acuerdo con los primitivos fenomenológicos propuestos por Di Sessa (1983). Estos elementos conceptuales dan cuenta, entonces, de un proceso específico como la flotación de un objeto, la descripción del movimiento en función de una fuerza aplicada, etc. A partir de estos eventos, el estudiante genera esta representación particular que en

PERFILES EDUCATIVOS

lo general concuerda con los denominados preconceptos o concepciones espontáneas. Identifiquemos estas preconcepciones con MODELOS, esto es, la construcción conceptual que da cuenta del evento o fenómeno es un modelo donde están implícitas las formas y reglas de representación y de significación. Podemos, en primera instancia, distinguir entre dos modelos, aquellos que describen situaciones con términos exclusivamente fenomenológicos que denominaremos modelos parciales (Mp). Estos modelos parciales describen las relaciones entre las variables y las secuencias observables del fenómeno. Estos modelos pueden describir las situaciones en diferentes formas dependiendo de las relaciones que se establezcan entre los términos fenomenológicos. Estas relaciones son por tanto de naturaleza funcional. Los modelos parciales permiten así comprender la presencia en los estudiantes de diferentes preconcepciones en la representación de las situaciones experimentales, por ejemplo la descripción de una trayectoria curva en un objeto en el que se interrumpe su movimiento circular.

En segundo lugar, mencionaremos los modelos posibles (Mt), estos modelos contienen tanto términos fenomenológicos como términos teóricos. De esta manera, los modelos posibles tienen como propósito la explicación de los fenómenos, y por tanto, los términos o constructos que intervienen se conectan por medio de relaciones causales. Preconcepciones como la de asignar la transferencia de fuerza a objetos que se lanzan o se ponen en movimiento, pertenecen a esta categoría. Ahora bien, la construcción y también la manifestación tanto de los modelos parciales como de los modelos posibles, se da en presencia de cierta intencionalidad-aplicabilidad, esto es, no son construcciones aisladas de una necesidad explicativa o predictiva que se impone al sujeto, en nuestro caso al estudiante. Esta demanda cognoscitiva enmarcada en la intencionalidad-aplicabilidad se presenta repetidamente en situaciones de la vida cotidiana y pocas veces en la actividad escolar, de forma que la construcción de estos esquemas o modelos está regulada principalmente por la exigencia contextual que presenta la situación fenomenológica al estudiante. No es pues de extrañar que la construcción personal de concepciones científicas se imponga a la escolar que no logra cobrar plena significación por no tener principalmente donde ubicar ésta. Esto último, presenta una adición a lo anteriormente expuesto en torno al aprendizaje de las teorías científicas y es la necesidad de presentar una demanda cognoscitiva (no memorización) que implica la construcción de nociones y modelos en función de las exigencias estructurales de la intencionalidad-aplicabilidad. De esta forma, para poder lograr una transformación conceptual en el estudiante, se requiere de la participación conjunta de dos aspectos: a) la fenomenología presentada en diferentes contextos; b) el requerimiento de intencionalidad-aplicabilidad necesario para la construcción de las relaciones, bien sean funcionales en un modelo parcial o causales en el modelo posible. Estos modelos que en los estudiantes son elementos aislados, en las teorías científicas están articulados en redes que tienen reglas de correspondencia o "constricciones" relacionadas a través de un formalismo lógico-deductivo (Stegmueller 1979). En la construcción de los modelos, podemos correlacionar la significación de los términos sean teóricos o fenomenológicos y las acciones cognoscitivas que el estudiante requiere llevar a cabo para que su modelo tenga

PERFILES EDUCATIVOS

validez dentro de su contexto cognoscitivo (ecología conceptual). Esta correlación se presenta en la figura 1.

Algunas consideraciones relativas al modelo epistemológico para la enseñanza de la ciencia

El estudiante, como se apunta en la literatura, construye modelos fenomenológicos (modelos parciales) y modelos explicativos (modelos teóricos) y estos pueden ser identificados con las preconcepciones o conceptos previos. Estos conceptos previos están en desacuerdo con los conceptos científicos y se requiere de un cambio conceptual para poder, en términos constructivistas, hablar de aprendizaje. Por otro lado, si tomamos la interpretación de que estos conceptos previos no forman estructuras organizadas de representación, esto es, teorías, sino que son modelos aislados que cobran sentido ante una fenomenología específica, entonces los modelos sean fenomenológicos o teóricos, no forman redes y los estudiantes no pueden por consiguiente tener representaciones generales de un campo de conocimiento como la mecánica clásica, la teoría de la evolución o los modelos atómicos, y por lo tanto no se conciben los niveles jerárquicos entre conceptos. Esto último se manifiesta en los estudios sobre novatos y expertos en la resolución de problemas (Chi, Glaser y Rees; 1982). A partir de la estructura de los modelos parciales y teóricos y su correlación con procesos de orden cognoscitivo, pueden apuntarse los siguientes lineamientos:

a) Es importante el conocimiento por parte de docentes y de quienes elaboran material educativo de los modelos parciales o fenomenológicos y los modelos posibles o teóricos, esto es identificar los términos fenomenológicos, teóricos y sus relaciones. Esto permitirá poner énfasis en la búsqueda de relaciones de integración para que el estudiante tenga elementos fenomenológicos suficientes para el cambio conceptual.

b) El diseño de las secuencias de enseñanza deberá estar orientado por la intencionalidad-aplicabilidad de situaciones de aprendizaje a las que el estudiante atenderá. Estas aplicaciones intencionales deben generar demanda cognoscitiva al menos en dos direcciones. Una, en el establecimiento de relaciones funcionales que permitan la transformación de los modelos parciales de los estudiantes (Mpe) hacia los modelos parciales correspondientes al conocimiento científico (Mpc). La segunda dirección deberá ser orientada hacia la transformación de los conceptos teóricos con base en las relaciones causales que permitan pasar al estudiante de su modelo teórico (Mte) hacia el modelo científico (Mtc).

c) Como tercer lineamiento de carácter general, está la búsqueda de redes entre los modelos. Ésta, como se ha apuntado, es uno de los aspectos que no tiene el estudiante en sus formulaciones previas. El establecimiento de las redes implica la formulación de jerarquías en los modelos en función de los criterios de las propias teorías científicas, esto es, en función de la generalidad de los conceptos teóricos y de los niveles de explicación. Así, los principios y leyes generales estarán en el nivel más alto de la jerarquía. La construcción de las redes estará orientada al

PERFILES EDUCATIVOS

igual que en los modelos, por las acciones de intencionalidad-aplicabilidad. Pero en lugar de buscar en los modelos parciales referenciales fenomenológicos directos, éstos se dirigirán hacia la deducibilidad de relaciones entre los términos fenomenológicos y los teóricos.

Al igual que en el proceso epistemológico, donde la estructura de los modelos y teorías científicas es un conjunto de procesos interrelacionados fuertemente dependiente del contexto cognoscitivo y de la propia formalización de la red teórica, en los estudiantes este complejo de relaciones está también presente. Tomando en cuenta esta consideración, un esquema que resume lo expuesto se encuentra en la figura 2.

Bibliografía

BUNGE, M.

1986. "Teorías físicas", en *Estructura y desarrollo de las teorías científicas*, de J. L. Roller (Ed.). Mexico, UNAM.

CARNAP, R.

1986. "El carácter metodológico de los conceptos teóricos", en *Estructura y desarrollo...op. cit.*

CHAMPAGNE, A. *et al.*

1985. "Instructional Consequences of Students' Knowledge about Physical Phenomena", en West y Pines (Eds.), *Cognitive Structure and Conceptual Change*. Academic Press, pp. 61-90.

CHI, M.T. *et al.*

1982. "Expertise in Problem Solving", en R.J. Sternberg (De.), *Advances in the Psychology of Human Intelligence*, vol 1. Hillsdale, N.J., Erlbaum.

COLL, C.

1978. *La conducta experimental en el niño*. Barcelona, Ediciones CEAC.

DiSESSA, A.

1983. "Phenomenology and the Evolution of Intuition", en *Mental Models*, de D. Gentner y A. Stevens (Eds.). Londres, Lawrence Erlbaum Associates.

DRIVER, R.

1986. "Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos", en *Enseñanza de las Ciencias* 4(1),pp.3-15.

FLORES, C. F.

1986. *Un modelo para la enseñanza de la física (desde la perspectiva de la psicopedagogía y la filosofía de la física)*. Tesis de maestría. *et al.*

1989. Manual para la experimentación de las ciencias naturales del libro de texto gratuito del sexto grado de primaria. Versión preliminar. SEP-UNAM.

PERFILES EDUCATIVOS

- y C. L. Gallegos
1989. Algunas implicaciones de la estructura de las teorías científicas para la enseñanza de la física. Reporte interno. Centro de Instrumentos-UNAM.
- GRANGER, G. G.
1983. *Formal Thought and the Sciences of Man*. Dordrecht Netherlands, Reidel.
- HEISENBERG, W.
1966. *Physics and Philosophy*. Nueva York, Harper.
- HEWSON, P. W.
1990. "La enseñanza de la fuerza y movimiento como cambio conceptual", en *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (2), pp.157-172.
- KUHN, T. S.
1971. *La estructura de las revoluciones científicas*. México, Fondo de Cultura Económica.
- LOPEZ RUPÉREZ, F.
1990. "Epistemología y didáctica de las ciencias. Un análisis de segundo orden", en *Enseñanza de las Ciencias*, 8 (1), pp.65-74.
- PIAGET, J. et al.
1975. *De la lógica del niño a la lógica del adolescente*. Buenos Aires, Ed. Paidós.
- PINES, L. et al.
1986. "Conceptual Understanding an Science Learning: An Interpretation of Research within a Source-of-Knowledge Framework", en *Science Education*, 70(5), pp. 583-604.
- SNEED, J. O.
1979. *The Logical Structure of Mathematical Physics*. Dordrecht. De. D Reidel,
- STEGMÜLLER, W.
1979. "A Combined Aproach to the Dynamics of Theories, en Anderson Radintzky (Eds.), *The Structure and Development of the Science*. Reidel, Dordrecht, pp. 151-186.
1979. *Teoría y experiencia*. Barcelona, Editorial Ariel.
- SNEED, J.D.,
1979. *The Logical Structure of Mathematical Physics*. Reidel Dordrecht, Holland.
- STRIKE., K. A. y G. Posner
1985. "A Conceptual Change View of Learning and Understanding", en West y Pines (Eds.), *Cognitive Structure and Conceptural Change*. Academic Press, pp.211-231.
- VIENNOT,L.
1979. "Spontaneous Reasoning in Elementary Dynamics", en *Eur. J. Sci. Educ.*, 1(2), pp.205-222.