

BASES PARA UN PROGRAMA DE INVESTIGACION EN TORNO A UN MODELO DIDACTICO DE TIPO SISTEMICO E INVESTIGATIVO

CAÑAL, P. y PORLAN R.

Dpto. Didáctica de las Ciencias. Universidad de Sevilla.

SUMMARY

This paper suggests the need of a model which allows coherent articulation of the different partial contributions in the field of science education. Some implications concerning the characteristics of a research programme on that model are derived.

INTRODUCCION

En el ámbito de la Didáctica de las Ciencias se percibe en la actualidad una necesidad, quizás más imperiosa que en otras didácticas especiales, de fundamentar científicamente las estrategias de enseñanza desarrolladas. Se detecta un cierto sentimiento de impotencia, o al menos de incertidumbre, respecto al establecimiento de unos cauces seguros para el desarrollo de la disciplina y la consecución de unos niveles satisfactorios de eficacia.

La Didáctica de las Ciencias, como toda didáctica, tiene un carácter tecnológico, o sea de ciencia aplicada basada en unas ciencias fundamentantes. Pero señala Bunge (1976) que las tecnologías no se limitan a aplicar conocimientos procedentes de otras ciencias, sino que también producen a su vez conocimiento científico y abren vías a la investigación para las ciencias básicas. Así, la didáctica tendrá muchos de sus fundamentos en la psicología, sociología, epistemología, etc., pero es evidente que su cuerpo teórico no se construirá por simple adición de las aportaciones realizadas por las ciencias básicas. Por el contrario, será precisa la elaboración de modelos y teorías que permitan interpretar adecuadamente las complejas interacciones que caracterizan el fenómeno de la enseñanza-aprendizaje, de naturaleza específicamente didáctica.

Las propuestas que se han ido formulando en estos últimos tiempos para la enseñanza de las ciencias, se han inspirado frecuentemente en alguna ciencia básica, especialmente la psicología y la epistemología. Son ejemplos notables las propuestas de Novak (1982), Posner et Al (1982) o, más recientemente, Pozo (1987), todas ellas de indudable interés pero insuficientes, en nues-

tra opinión, para orientar adecuadamente la labor de enseñanza en el contexto real de la clase o líneas de investigación coherentes y fructíferas para la Didáctica de las Ciencias. Las aportaciones de Giordan (1982, 1983), Driver (1986), Driver y Oldham (1986) o de Gil (1987) reflejan una seria preocupación por lograr planteamientos más globales. En este mismo sentido, hemos venido propugnando la necesidad de un modelo didáctico que permita articular coherentemente las diversas aportaciones parciales que se han ido haciendo, en un cuerpo teórico propio (Cañal y Porlán, 1986, 1987), que haga una relectura específica, desde la didáctica de las Ciencias, de las diversas bases científicas que lo sustenta. Una aproximación a ello la hemos desarrollado en diversos capítulos del libro «La reforma del ciclo superior de la EGB en Andalucía» (Varios, 1987).

Nos referíamos entonces a la conveniencia de considerar la enseñanza-aprendizaje escolar como un fenómeno peculiar que se produce en unas unidades (aula, clase, grupo), que pueden conceptualizarse válidamente, como un sistema (Bertalanffy, 1976), de carácter complejo y singular (Porlán, 1985). En nuestro país, otros autores como Gimeno (1981) y Pérez (1985), por ejemplo se han referido anteriormente al currículo y al aula, respectivamente, como sistemas. Sobre esa base realizamos una primera caracterización muy somera de la estructura y función de tal sistema, haciéndonos patente la insuficiencia de aquella descripción a la hora de plantearnos el diseño de un programa de investigación que pusiera en juego dicho modelo con vistas a estimar su validez como marco interpretativo y normativo.

Nos centraremos, pues, aquí en desarrollar más extensamente el modelo sistémico del aula, para derivar después algunas implicaciones respecto a las características de un programa de investigación sobre el mismo.

Se ha resaltado el hecho de que en todo caso, como señala Gimeno (1981), un modelo no es más que una representación parcial y selectiva de aspectos de la realidad, centrando la atención, tan sólo, en aquello que se considera importante. El modelo es un esquema mediador entre la realidad y el pensamiento, una estructura en torno a la que organizar el conocimiento, una fuente de hipótesis de investigación que no puede agotar de forma absoluta y definitiva la interpretación de la realidad, sino que tendrá siempre un carácter provisional y aproximativo sin excluir a ningún otro.

1. UN MODELO SISTEMICO DEL AULA

En el análisis que realiza Pérez (1985), considera el aula como un sistema de comunicación, cuyos elementos constituyentes fundamentales sería: la fuente de información, el mensaje emitido, el contexto institucional y el destinatario del mensaje, entre los que se producirían interrelaciones características de los sistemas.

Desde nuestro punto de vista, puede ser más fructífera una concepción sistemática del aula cercana a la que se establece en el ámbito de la biología para definir los ecosistemas.

En general, un sistema puede ser definido (Bertalanffy, 1976) como un conjunto de elementos relacionados entre ellos y con el medio circundante. Así, en un ecosistema se encontrarán elementos vivos relacionados entre ellos y con su medio abiótico. La estructura formal de un aula es semejante, por lo que proponemos la caracterización del sistema-aula, que podría denominarse GNOSISTEMA (si resulta útil el empleo de un término específico) como «un sistema compuesto por elementos humanos que mantienen relaciones entre sí y con el contexto del aula».

La estructura del gnosistema o sistema-aula estará, pues, integrada por elementos humanos (profesores y alumnos), elementos contextuales (aula, mobiliario, material didáctico, etc.).

En cuanto a su funcionamiento, debe resaltarse en primer lugar que se trata de un sistema abierto (que mantiene intercambios con sistemas adyacentes) y teleológico (que está orientado explícitamente hacia unos fines). La razón de ser específica del gnosistema es la producción de aprendizajes de diversa índole en los alumnos. De hecho, la propia dinámica del sistema generará aprendizajes (unos previstos y otros no) en todos sus elementos humanos, alumnos y profesores, como producto de las interacciones que se dan en el mismo.

Interacciones

Las interacciones principales que se originan en el

sistema-aula son las relaciones comunicativas y las relaciones de poder. En cuanto a la *comunicación*, el sistema funcionará como una red constituida por canales, depósitos y áreas de procesamiento y construcción de nueva información. Superpuesta a la red de interacciones comunicativas existen unas relaciones de poder (Erickson, 1982) que determinarán la importancia relativa de cada elemento del sistema en la circulación de la información por la red comunicativa, así como las características de los canales y demás propiedades del flujo de la información en el gnosistema.

El flujo de la información

La *información* es el «alimento», la materia prima del sistema-aula. La educación conlleva siempre procesos de emisión, recepción y procesamiento de información. La emisión corre a cuenta de emisores de diversa naturaleza, como pueden ser: el profesor, los alumnos, los libros, los medios audiovisuales, los archivos, otras personas (padres, profesionales diversos, alumnos de otras clases y otros colegios, etc.), o bien la propia realidad del entorno escolar y extraescolar.

La información entra en el sistema-aula, circula, se disipa, se transforma, se almacena, etc. Será percibida y procesada en forma particular por cada alumno o profesor, produciendo alteraciones de mayor o menor entidad en ella y en otras construcciones anteriores de los mismos, pudiendo almacenarse, reestructurarse, reemitirse, etc. Ocupa un lugar especialmente notable la información existente en el sistema (especialmente en profesores y alumnos) antes de que se pongan en marcha las estrategias para incorporar a éste nueva información como medio para provocar la reconstrucción perfecta de los aprendizajes anteriores. Existirá información previa:

- en cada alumno: sus esquemas conceptuales previos, actitudes, hábitos, destrezas, etc.
- en los profesores: concepciones didácticas, conceptualizaciones, intereses, experiencias, habilidades, etc.
- en los elementos del contexto: características de éstos, forma en que están dispuestos, formas en que se organiza su uso, etc.

La *emisión* se efectuará principalmente por los canales acústicos y visual, pero no debe desdeñarse la importancia de las vías táctiles y olfativas en determinadas situaciones y edades. La recepción de la información se producirá o no en función de factores tales como el código empleado, el nivel de atención de los receptores potenciales, la naturaleza del mensaje, la simultaneidad del mismo con otros mensajes, etc., viéndose afectada en todo caso por los filtros sensorial-perceptivos y cognitivos del receptor.

El *procesamiento de la información* se entiende en este modelo como un fenómeno constructivo (Kelly, 1955; Sastre y Moreno, 1980; Giordan, 1983; Norman, 1985; Pope, 1986; Driver, 1986, etc.). Los aprendiza-

jes cognitivos conllevan procesos de cambio conceptual y operativo según procesos de carácter evolutivo, que puede considerarse homólogos a los descritos por Toulmin (1984) para caracterizar el cambio en los conocimientos científicos, en contraposición a las concepciones de Kuhn (1971). Este proceso de cambio gradual mediante formulaciones sucesivas ha sido descrito por Giordan (1983), Astolfi y otros (1984), INRP (1985), etc., que insisten asimismo en la necesidad de considerar el error conceptual como paso obligado en una aproximación sucesiva hacia las concepciones científicas (que a su vez seguirán un proceso similar de cambio).

Una gran parte de la información que circula por el gnosistema se perderá por no llegar a procesarse o bien se acumulará en forma inerte, no significativa (memorización no significativa), y ello se producirá tanto en el caso de los alumnos como en el de los profesores, a los que escapará gran parte de la información potencialmente significativa para la comprensión de los procesos que se están desarrollando en el aula.

El valor cuantitativo del flujo de la información aférente (emisores-receptores), en cuanto a la cantidad de información y velocidad de emisión, será un factor crucial en la producción del sistema, condicionando en gran manera la consecución de aprendizajes significativos. La velocidad de procesamiento de cada individuo, así como los itinerarios seguidos, pueden diferir notablemente de unos a otros.

Energía, producción y cambio en el gnosistema

La *energía* que mueve el sistema-aula es la motivación (la de los alumnos y la del profesor). El nivel de disposición a enseñar y a aprender condicionará fuertemente la eficacia del sistema en la producción de aprendizajes.

La *motivación* se considerará intrínseca o extrínseca respectivamente, según su origen se sitúe más próximo a la enseñanza y al aprendizaje en sí mismos, o bien a otros factores no directamente relacionados con éstos.

La *producción* del sistema se define en este modelo como el incremento de aprendizajes significativos por unidad de tiempo. El concepto se podrá aplicar a cada individuo o al conjunto de los mismos. La determinación de la producción del sistema exigirá una medición de los aprendizajes significativos existentes al comienzo y final del período estudiado en cada individuo o bien en una muestra representativa del conjunto. La operatividad de este indicador de la eficacia, llevará a recurrir a estimaciones sectoriales de la producción, tanto en cuanto al número de individuos de la muestra, como a la selección de unos aprendizajes concretos como estimadores de la producción global.

Puede asimismo definirse la *productividad* del sistema, obtenida como el cociente entre la producción y el valor de partida para los aprendizajes significativos.

Se podrá estudiar, igualmente, la evolución de estas variables en el tiempo, determinándose por ejemplo la existencia o no de fenómenos de oscilación de las mismas, de mecanismos de retroalimentación para conservar el equilibrio funcional o de un estado terminal o climax, de producción óptima.

Pese a la existencia de ciertas regularidades, que se han recalcado anteriormente, el sistema-aula tendrá unas características propias en cada caso: en sus componentes estructurales y en su funcionamiento. Por ello, es adecuada la caracterización que hicimos de éste como sistema complejo y singular, en oposición a aquellas propuestas que, de hecho, lo han definido como una entidad simple (con muy pocos elementos: profesor, alumnos, libro de texto) y generalizable, es decir, susceptible de un tratamiento didáctico estereotipado (Porlán, 1985).

Papel del profesor en el gnosistema: los métodos de enseñanza

La función del profesor en este modelo encuentra su sentido en la orientación del sistema hacia la consecución de sus fines (una producción de aprendizajes significativos individuales y colectivos adecuada), lo que se efectuará fundamentalmente por dos vías:

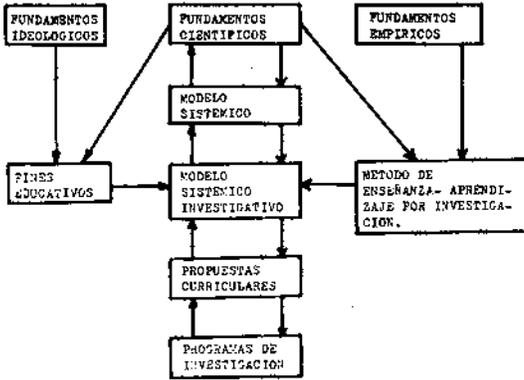
- a) Incrementando la energía disponible del sistema, mediante el desarrollo de las motivaciones intrínsecas propias (del profesor y de los alumnos).
- b) Regulando las características del flujo de la información en el sistema (fuentes, canales, velocidad, interacciones, tipo de información, etc.).

Estos dos tipos de acciones se concretan en la adopción de un o unos *métodos de enseñanza* que definiremos como «conjuntos integrados de normas y especificaciones sobre la estructura y el funcionamiento del gnosistema». Así, la información se obtendrá de ciertas fuentes, por ciertos canales y fluirá por determinados itinerarios prefijados, para lograr unas finalidades explícitas o implícitas. El método constituye la vertiente normativa de la didáctica y como tal se incorporará al esquema descriptivo del sistema-aula, antes presentado.

Anteriormente (Cañal y Porlán, 1987), definimos el modelo didáctico como «una construcción teórico-formal que basada en supuestos científicos e ideológicos, pretende interpretar la realidad y dirigirla hacia unos determinados fines educativos». El modelo, decíamos entonces, deberá aportar respuestas al menos para las siguientes cuestiones:

- a) ¿Con qué modelo conceptual se describe e interpreta la realidad del aula?
- b) ¿Cuáles serán los fines educativos seleccionados para orientar la intervención didáctica?
- c) ¿Qué principios didácticos fundamentales, congruentes con el esquema conceptual básico del aula, po-

Esquema 1



drán dirigir el funcionamiento de ésta hacia los fines previstos?

Hasta ahora hemos dado respuesta a la primera pregunta, pero resta un aspecto fundamental: dados unos fines concretos, ¿qué métodos emplear para alcanzarlos? Es decir, la proyección normativa del modelo.

2. UN MODELO SISTEMICO INVESTIGATIVO PARA LA ENSEÑANZA DE LAS CIENCIAS: EL MSI

El MSI se constituye mediante la superposición de tres componentes:

- las características del modelo sistémico general antes presentado,
- la selección de unos fines para la enseñanza de las ciencias,
- la especificación de unos principios didácticos que estarán presentes en una propuesta metodológica concreta: *la enseñanza-aprendizaje por investigación* (Varios, 1987). (Esquema 1).

Si bien esta propuesta creemos que puede ser aplicable a diversas áreas curriculares y niveles, mediante diseños curriculares específicos derivados de la misma, es evidente que encontrará más directamente su ubicación en el ámbito de la educación científica básica y media.

Dado que existe un cierto consenso en cuanto a los fines de la educación científica, superada la dicotomía entre conceptos y procesos, conocimientos y actitudes, nos limitaremos a resaltar, en relación con ello, lo siguiente:

— la importancia que reviste la construcción progresiva por el estudiante de los conceptos y mallas conceptuales necesarios para estructurar con eficacia la realidad y lograr un adecuado desenvolvimiento en la misma

— el interés del desarrollo gradual, también constructivo, de las actitudes y destrezas de todo tipo características de la ciencia y el trabajo científico

— la necesidad de hacer conscientes a los profesores de los objetivos personales a conseguir y de capacitarse para el análisis reflexivo de su práctica como vía hacia el perfeccionamiento profesional.

En cuanto a los *principios didácticos*, los hemos caracterizado en diferentes ocasiones (Cañal, 1985; Cañal y Porlán, 1987), por lo que tan sólo los enunciaremos:

- a) Autonomía y creatividad
- b) Libertad y cooperación
- c) Juego y trabajo
- d) Enfoque ambiental
- e) Globalización e interdisciplinariedad
- f) Comunicación

Dichos principios encuentran su eje vertebrador en la investigación escolar, definida como «un proceso de aprendizaje fundamentado en la tendencia hacia la exploración y en la capacidad para el pensamiento racional, común en nuestra especie desde el nacimiento, así como en los rasgos fundamentales del espíritu científico, en interacción dialéctica con el desarrollo de las estructuras conceptuales y operatorias del individuo y que es concebida como un instrumento al servicio de los objetivos generales de la educación, en el marco de una opción didáctica global». (Esquema 2)

Debe hacerse notar que esta concepción de la investigación escolar es aplicable tanto a la actividad investigativa del alumno (como instrumento para el aprendizaje), cuanto al enseñante (como instrumento para su perfeccionamiento profesional y para el desarrollo curricular) (Stenhouse, 1984; Gimeno, 1983; Porlán, 1985).

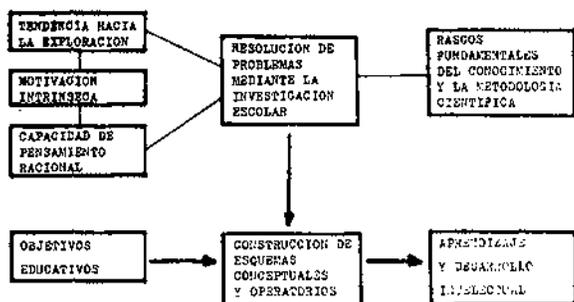
La *metodología investigativa* que proponemos para el proceso de aprendizaje de los alumnos se concreta en la selección de unos tipos de actividades, una propuesta de secuenciación de las mismas (lo que implica una canalización concreta del flujo de la información) y una ubicación del profesor en ese proceso (Varios, 1987).

Los tipos de actividad puestos en juego serán:

- a) Actividades de detección y desarrollo del campo de los intereses de los alumnos (desarrollo de la motivación intrínseca).
- b) Actividades de detección de problemas concretos a investigar.
- c) Actividades de expresión de esquemas conceptuales y demás aprendizajes previos concernientes al problema investigado, incluyendo las posibles hipótesis explicativas.
- d) Actividades de planificación para la resolución del problema.
- e) Actividades de ejecución de lo planificado.

Esquema II

Concepción de la investigación escolar del alumno en el MSI.



- f) Actividades de expresión de resultados.
- g) Actividades de aplicación, estructuración y generalización de los resultados.
- h) Actividades de estimación de los aprendizajes alcanzados.

Una secuencia-tipo de estas actividades puede verse en el esquema 3.

Incidencia de la metodología investigativa y la propuesta de fines sobre la estructura y función del modelo sistémico general

Los efectos habrán de ser valorados precisamente mediante el desarrollo de un programa de investigación diseñado «ex profeso». La incidencia prevista surgirá de hipótesis a dicha investigación; no obstante, pueden señalarse algunas consecuencias generales.

Por una parte, la estructura humana y contextual del sistema tenderá a hacerse más compleja al potenciarse la apertura hacia sistemas contiguos (enfoque ambiental, con investigación de problemas concretos referidos al medio), originándose un incremento notable de la circulación en ambos sentidos de personas y elementos contextuales.

No obstante, la principal incidencia se plasmará en las características funcionales del sistema, con una potenciación de los procesos comunicativos interindividuales y grupales en un ambiente propicio para ello (definido por los principios pedagógicos y su concreción en la metodología de trabajo empleada), eliminación de barreras al flujo de la información puesta en juego, incremento de la motivación y aumento de la significatividad potencial de la información movilizada.

Creemos que el MSI es un marco integrador adecuado para las aportaciones que las ciencias básicas han venido realizando: la teoría general de sistemas, la teoría de la información, la psicología (cognitiva, constructivista, evolutiva y social), la sociología y

la epistemología, así como para los principios didácticos que se han ido conformando en la praxis educativa, cuya potencialidad podrá ahora estimarse más objetivamente.

3. CARACTERISTICAS GENERALES DE UN PROGRAMA DE INVESTIGACION DIDACTICA BASADO EN EL MSI

El objetivo general del programa sería, en primer lugar, la comprobación de la utilidad del esquema interpretativo del fenómeno de la enseñanza que propone el modelo; y por otro lado, la contrastación en la práctica de las hipótesis implícitas que contiene el modelo. Las hipótesis principales pueden ser las siguientes:

1. La producción de aprendizajes significativos en el campo de la enseñanza de las ciencias en la EGB y en Bachillerato mejorará notablemente con la aplicación de diseños curriculares basados en el MSI respecto a otros diseños no investigativos.
2. El incremento de la producción del gnosistema se derivará del aumento del nivel de motivación (= energía) disponible y del mejoramiento cuantitativo y cualitativo de la red comunicativa por la que se produce el flujo de la información.
3. El mejoramiento del flujo de la información se producirá como consecuencia de:
 - 3.1. El establecimiento de unas relaciones de poder democráticas que no interfieran negativamente el flujo de la información.
 - 3.2. La reducción de las resistencias y pérdidas producidas en los canales de transmisión de la información.
 - 3.3. La adecuación cuantitativa del flujo de la información (en su sentido de cantidad de información por unidad de tiempo).
 - 3.4. La potenciación de los intercambios interpersonales en los grupos de trabajo e intergrupos.
 - 3.5. La potenciación de las actividades encaminadas a conseguir el procesamiento conjunto de la nueva información y los aprendizajes anteriores.
 - 3.6. El perfeccionamiento de las estrategias puestas en juego para descubrir, resaltar y resolver las insuficiencias y contradicciones en las concepciones del alumno (y el profesor) y dinamizar los procesos de evolución conceptual en el sistema (y en cada uno de sus componentes). Ello requerirá el perfeccionamiento profesional desarrollado por el profesor.
4. La participación de un profesor en el desarrollo de un currículum basado en el MSI le reportará un progreso apreciable en su competencia profesional, si posee una adecuada motivación intrínseca en ese sentido.

Una investigación como ésta requerirá tres tipos mues-

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- ASTOLFI, J.P., y otros, 1984, *Experimenter*, (Edit. Privat. Toulouse).
- BERTALANFFY, L., 1976, *Teoría General de los Sistemas*, (Fondo de Cultura Económica, México).
- BUNGE, M., 1976, *La investigación científica*, (Ariel: Barcelona).
- CAÑAL, P., 1985, Un enfoque curricular basado en la investigación. Comunicación en las *III Jornadas de Estudio sobre la Investigación en la Escuela*. Sevilla.
- CAÑAL, P. y PORLAN, R., 1986, Enseñanza-aprendizaje por investigación: La urgente necesidad de un modelo didáctico global. *Actas IV Jornadas de Estudio sobre la Investigación en la Escuela*, Sevilla.
- CAÑAL, P. y PORLAN, R., 1987, Investigando la realidad próxima: Un modelo didáctico alternativo. *Enseñanza de las Ciencias*, 5(2): 89-96.
- DRIVER, R., 1986, Psicología cognoscitiva y esquemas conceptuales de los alumnos. *Enseñanza de las Ciencias*, 4(1): 3-15.
- DRIVER, R., OLDHAM, V., 1986, A constructivist approach to curriculum development in Science. *Studies in Science Education*, 13:105-122.
- ERICKSON, F., 1982, Structures of control. *Communicating in the classroom*. (Academic Press: New York).
- GIL, D., 1987, Los errores conceptuales como origen de un nuevo modelo didáctico: de la búsqueda a la investigación. *Investigación en la Escuela*, 1:35-41.
- GIMENO, J., 1981, *Teoría de la enseñanza y desarrollo del currículum*. (Anaya: Madrid).
- GIMENO, J., 1983, El profesor como investigador en el aula: un paradigma en la formación de profesores. *Educación y Sociedad*, 2:51-75.
- GIORDAN, A., 1982, *La enseñanza de las Ciencias*, (Pablo del Río: Madrid).
- GIORDAN, A., 1983, *L'élève et/ou les connaissances scientifiques*. (Peter lang. Paris).
- I.N.R.P., 1985, Procédures d'apprentissage en sciences expérimentales. *Aster*, Paris.
- KELLY, G.A., 1955, *The psychology of personal constructs*. (W.W. Norton & Co. New York).
- KUHN, TH.S., 1971, *La estructura de las revoluciones científicas*. (Fondo de Cultura Económica. México).
- NORMAN, D.A., 1985, *El aprendizaje y la memoria*. (Alianza: Madrid).
- PEREZ, A., 1985, *Sistemas de comunicación en la teoría y práctica didáctica*. (Universidad de Málaga).
- POPE, M., 1986, La psicología de los constructos personales y la investigación e innovación curricular. *Actas IV Jornadas de Estudio sobre la Investigación en la Escuela*. Sevilla.
- PORLAN, R., 1985, El maestro como investigador en el aula: investigar para conocer, conocer para enseñar. Comunicación en las *III Jornadas de Estudio sobre la Investigación en la Escuela*. Sevilla.
- POSNER, et al., 1982, Accommodation of a scientific conception: toward a theory of conceptual change. *Science Education*, 66(2): 211-227.
- POZO, J.I., 1987, *Aprendizaje de la ciencia y pensamiento causal*. (Aprendizaje, Visor: Madrid).
- SASTRE, G. y MORENO, M., 1980, *Descubrimiento y construcción del conocimiento*, (Gedisa: Barcelona).
- STHENHOUSE, L., 1984, *Investigación y desarrollo del currículum*, (Morata: Madrid).
- TOULMIN, S., 1967, *La comprensión humana. I: El uso colectivo y la evolución de los conceptos*, (Alianza: Madrid).
- VARIOS, 1987, *La reforma del Ciclo Superior de la EGB en Andalucía*. (Consejería de E. y C. Junta de Andalucía. Sevilla.)