

---

## PARALELISMO ENTRE LOS MODELOS PRECIENTÍFICOS E HISTÓRICOS EN LA OPTICA - IMPLICANCIAS PARA LA EDUCACIÓN

---

*Marta Pesa de Danon*  
*Leonor Colombo de Cudmani*  
Instituto de Física  
Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología  
Universidad Nacional de Tucumán  
Tucumán -Argentina

### **Resumen**

Se establece un paralelismo entre los modelos históricos que se construyeron en aplica y las conceptualizaciones previas y paradigmas precientíficos detectados en la investigación educativa.

Se encararan tres problemáticas principales: naturaleza y propagación de la luz; formación e imágenes; fenómenos relacionados con el coloro

Del análisis se desprende la similitud de los procesos históricos y psicológicos.

Los siglos que costaron al género humano construir sus esquemas conceptuales y su paralelismo con la génesis psicológica de los mismos en los individuos son, en general, totalmente ignorados en la práctica docente institucional. No es de extrañar pues, que ésta no consiga producir los cambios, desde los paradigmas preconceptuales a los científicos.

### **I. Introducción**

Los modelos más actuales sobre aprendizaje de las ciencias ponen cada vez más énfasis en rescatar el importante rol que juegan en este proceso las conceptualizaciones previas de los aprendices (preferimos usar este término -aprendiz -para designar al sujeto del aprendizaje por cuanto los términos “alumnos” o “estudiante” podrían hacer pensar que los docentes son ajenos a dicha actividad). Cada vez son más numerosos los trabajos en revistas especializadas que las ponen de manifiesto en los más diversos campos del aprendizaje de las ciencias.

Frente a la necesidad de explicar un fenómeno observado, de describirlo, de prever comportamientos futuros, se recurre a modelos y representaciones que, en general, no se corresponden con los modelos científicos que se presentan en la instrucción sistemática de las disciplinas. Estas conceptualizaciones, o conceptos, contextualmente erróneos no están sistematizados, ni son coherentes.

Se usan modelos diferentes y a menudo contradictorios o incompatibles frente a distintos fenómenos de un mismo campo del conocimiento. Pese a ello, estos modelos están tan firmemente arraigados que muchos años de estudio de las disciplinas no logran, en general, modificarlos.

Esto se comprende si se piensa que ellos son el resultado de la actividad cognoscitiva del sujeto, se han ido construyendo ladrillo a ladrillo con las propias observaciones y experiencias.

La forma en que tradicionalmente se realiza el aprendizaje institucional de las ciencias al general y de la Física en particular, no alcanza ni aproximadamente este grado de construcción personal, simplemente se logra llegar a comprender construcciones sin que participemos en el proceso de construcción. Es por ello que en el proceso enseñanza aprendizaje de la Física resulta fundamental aprender a distinguir aquellos errores que no tienen ningún asidero científico o racional, de aquellos otros que son el resultado de un proceso de construcción todavía incompleto, con incoherencias y contradicciones pero que pueden ser considerados como estadios previos a partir de los cuales pueden afianzarse las concepciones científicas.

El problema que atañe a la mayoría de los investigadores en este campo es el de buscar una estructura interna en esas concepciones para no caer en una mera enumeración y descripción de comportamientos.

El poder identificar esas estructuras facilitará la búsqueda de estrategias superadoras sin caer en la metodología empírica de ensayo y error.

La sistematización de esas ideas exige un esfuerzo mayor que la respuesta empírica. En efecto, si se dispone de un marco conceptual teórico, un modelo explícito, las concepciones adquirirán significados más claros y precisos, y será quizás posible derivar algunas estrategias y tácticas docentes de las premisas del modelo. Esas estrategias generadas a partir de un modelo, además de ser perfectibles, tendrán un potencial de transferencia mayor que la respuesta empírica (Cudmani L., 1991).

Una de las referencias usadas por los investigadores para realizar esta sistematización es la historia de las ciencias. En efecto, recientes estudios en distintas áreas de la Física muestran cómo la historia de los desarrollos cognitivos individuales y el proceso de desarrollo conceptual arrojan luz uno sobre el otro (San Martín N, Casadella J., 1987; Pesa M., 1991).

Todos estos estudios se fundamentan en los apartes de la epistemología genética de Jean Piaget:

*“La hipótesis fundamental de la epistemología genética es que hay un paralelismo entre el progreso realizado en la organización lógica y racional del conocimiento (historia de las ciencias) y el proceso psicológico formativo correspondiente” (Piaget J, 1975).*

y los apartes de Piaget y García (1987) que fundamentados en la epistemología genética analizan cómo las normas elaboradas por el sujeto epistémico en el curso de su génesis serían comparables a las normas inherentes al pensamiento científico, y en qué medida los procesos de cambio entre la protociencia y la ciencia son similares a los procesos de cambio entre estadios genéticos.

En Óptica hay numerosos trabajos que sacan a luz las preconcepciones, (Goldberg F., McDermott L., 1983, 1986, 1987; Guesne E, 1985; Andersson B., Kärqvist C., 1983; Feher E, Rice K., 1985; Pesa M., Cudmani L, Salinas J, 1992).

En este trabajo nos proponemos estructurar esa multiplicidad de situaciones analizadas en la bibliografía y encontradas en nuestras investigaciones, usando como referente los

modelos que sobre los mismos fenómenos fueron apareciendo históricamente y estableciendo diferencias y analogías.

Los trabajos más numerosos y mejor conocidos se refieren a las preconcepciones en mecánica. El cambio paradigmático hacia la mecánica newtoniana es difícil y las preconcepciones aristotélicas y medievales (teoría del ímpetu) reaparecen cuando menos 10 esperamos frente a la necesidad de dar solución a situaciones problemáticas concretas.

También en aplica la génesis histórica aparece muy correlacionada con la génesis psicológica en la construcción de concepciones.

Diferenciaremos en nuestro estudio, tres grandes grupos problemáticos. Los referidos a:

- la naturaleza y propagación de la luz;
- la formación de imágenes;
- el color

## **II. Modelos referidos a la naturaleza y propagación de la luz**

Veremos en este párrafo algunas concepciones que se sostuvieron a través del desarrollo histórico de la ciencia y sus análogos en el comportamiento ingenuo o preconceptual.

La aplica, como la Mecánica, es una ciencia antigua. En efecto, entre los griegos, se gesta el embrión de la aplica. Ellos parecen admitir la legalidad en la naturaleza y la posibilidad de un conocimiento racional. Comienza así una tarea de investigación científica destinada a buscar explicación de los sucesos y procesos observados.

Las teorías formuladas y los modelos que llevan implícitos, constituyen más que teorías científicas de la luz, análisis descriptivos de la naturaleza y esquemas explicativos especulativos.

Los modelos elaborados tienen como marco de referencia el sentido común de la visión, de la luz y del color (Pesa M. 1991).

En breve síntesis caracterizaremos los siguientes modelos elaborados por los griegos sobre la naturaleza de la luz y los mecanismos de propagación (Delval J 1985).

Los fundamentos de estos modelos se refieren a:

-cómo se concibe la luz: sea como un flujo de materias, átomos o partículas; sea como una modificación del medio en el cual tienen lugar los fenómenos luminosos (éter). Se enfrentan así una concepción dinámica con una concepción estática que relejan dos grandes cosmovisiones del pensamiento de estos filósofos (Tatton R., 1975).

-cuál es la fuente de este “fuego” o “efluvio” (hoy diríamos “energía”) que hace posible la visión de los objetos.

Así Pitágoras (580 a. de C.) consideraba que la luz se propaga en línea recta, en forma de rayos que emanan del ojo, formando conos con vértices en ésta. Esta “emanación” choca con los cuerpos; la visión es el resultado de este choque; la analogía con el sentido del tacto es evidente. Esta teoría de la emanación perduró hasta Newton.

Empédocles, por su parte, considera a la luz como constituida por efluvios que son proyectados por: las fuentes incandescentes, los ojos y los cuerpos visibles.

La visión, por lo tanto, es consecuencia, a veces, de la entrada al ojo de efluvios adiados por los objetos sin que el ojo emita, a veces, por raros que arrojan los ojos. En resumen, Empédocles mantiene parcialmente el modelo de “emanación” y le suma los “efluvios del fuego sutil”. Se da de este modo la dualidad característica de las preconcepciones que anticipan el cambio conceptual.

Veremos, a continuación, cómo reaparecen estas teorías en las preconcepciones y en explicaciones precientíficas.

Hoy ningún aprendiz diría, si se le pregunta explícitamente, que la luz sale del ojo. Sin embargo hay numerosas interpretaciones erróneas de los hechos, reveladas por las investigaciones en ésta área, que muestran cómo es ésta la concepción que está implícita en muchas predicciones, explicaciones e interpretaciones.

Así, en las experiencias de D. Smith (1984) cuando se pide a los aprendices que expliciten el camino que sigue la luz para un observador que ve un lápiz reflejado en un espejo, 45% responde que la luz va del ojo al lápiz o del ojo al espejo. La muestra estaba constituida por maestros primaria con formación universitaria.

Otros ejemplos en que aparecen este tipo de preconcepciones se presentan en las explicaciones que se detectan en las investigaciones cuando se pide la predicción del comportamiento en situaciones problemáticas referidas a tamaño de la sombra que proyecta un objeto cuando se modifican las distancias de la fuente y de la pantalla o sombras que proyectan objetos en sombras de otros (Smith D. 1986; Feher E., Rice K. 1985; Cudmani L., Pesa M., Salinas J. 1992), mecanismos para explicar cómo se ven los objetos (Bouwrens R., 1987; Guesne E. 1970; Anderson B, 1983) movimientos de la imagen en un espejo plano (Golberg F., Mc Dermott L. 1986, 1987; Pesa M., Cudmani L. Salinas J., 1992); salvo en niños muy pequeños no hay constancias en las investigaciones de que el modelo pitagórico puro sea defendido explícitamente por los aprendices; sin embargo se lo utiliza para predecir comportamientos, para justificar estas predicciones, para explicar situaciones en contradicción con el reconocimiento explícito de que la luz proviene de las fuentes.

### **III. Modelos referidos a la formación de imágenes**

Con los atomistas (450 a. de C) tales como Demócrito, Leucipo, Epicuro, aparece una nueva concepción sobre la naturaleza de la luz, que explica además cómo se generan las imágenes de los objetos.

Según estas teorías los cuerpos emiten átomos de distintas formas y tamaños que llevan la imagen de los cuerpos, la llamada “eidola”, hasta fijarla en los ojos, las distintas imágenes se corresponden con esas distintas formas y tamaños; la imagen, por lo tanto viaja con el haz luminoso, transportada por la eidola.

Demócrito no abandona la idea de “emanación” pero la combina con la teoría de la “eidola”. Ambas emanaciones, la del objeto y la del ojo “chocan” entre si y de esta interacción resulta la visión (Taton-1975).

Las experiencias de Guesne (1985) sobre la visión de los objetos, y otros trabajos citados anteriormente, muestran cómo estas concepciones reaparecen a menudo en alumnos, maestros y profesores de Física.

Con referencia a la imagen, de acuerdo a esta teoría, ella viaja, como vimos, llevada por la eidola en el haz de luz, sin estar relacionada para nada con los fenómenos de reflexión y refracción, y por lo tanto, sin que se requiera de instrumento alguno, para obtenerla.

Las experiencias de Feher y Rice (1985) y también las nuestras (1991) sobre la predicción de lo que se observa cuando se interpone en la marcha de los rayos obstáculos o aberturas de distintos tamaños, revelan fallas análogas en las predicciones, explicaciones e interpretaciones respecto de cómo se forman las imágenes. Las experiencias no muestran comportamientos muy diferentes cuando se modifica la muestra. Estudiantes, profesores secundarios y universitarios presentan comportamientos comparables, especialmente cuando se trata de obstáculos pequeños.

Los modelos holísticos que allí se analizan (modelos de “encaje” o de “embudo”) que llevan a los aprendices a predecir que la imagen de la fuente en una pantalla, tiene la forma de la fuente, sea cual sea el tamaño de la abertura que se interpone, refleja esta concepción de que la imagen se propaga como un todo en el haz luminoso y que al interceptar el haz en cualquier punto de su trayectoria se percibirá la imagen del objeto-fuente de donde proviene el haz.

Explican también las respuestas erróneas sobre el tamaño de las sombras (“si el objeto está a la mitad de la distancia entre la fuente y la pantalla, la imagen y el objeto son de igual tamaño”) o las predicciones respecto a que un perro en la sombra de una casa tendría su propia sombra (Smith- 1985).

También corresponde a una concepción similar la creencia de que la imagen que se obtiene con lentes o espejos no está localizada en el espacio. Las experiencias sobre previsiones de lo que se va a observar cuando se muevan las lentes o los espejos o cuando se quita estos elementos en un sistema objeto -lente (espejo) -pantalla (Golberg F., McDermott L, 1986,1987; Cudmani L., Pesa M., Salinas J., 1991) muestran la frecuencia con que se presentan respuestas erróneas basadas en estas concepciones, tales como: “si saco la lente la imagen se endereza” o “la imagen se achica”; éstas muestran claramente, y así se ve en las justificaciones, que no se entiende realmente el rol que juegan las lentes, espejos, pequeños orificios, en la definición de la imagen.

Una suposición implícita en estas respuestas, es la de considerar que de cada punto de la fuente (un objeto) parte un solo rayo; es decir que la luz se propaga en una dirección única (o cuando mucho en dos: las de los raras que se usan para encontrar con facilidad la imagen).

Es interesante destacar aquí que en muchas ocasiones la instrucción afianza este preconcepto. Rara vez se ve en los textos figuras con lentes, o espejos que muestren que de cada punto de la fuente parten un infinitud de raras en todas las direcciones. En aras de lograr la obtención de imágenes con construcciones geométricas sencillas en las que se recurre a dos o tres raras, curvas trayectorias están bien determinadas, una vez que se ha definido eje óptico y focos, se pierde la física involucrada en el proceso. Si no se enfatiza el rol de la reflexión o la refracción en algún instrumento óptico: lentes, espejos,...los cuales, interpuestos en la marcha de los rayos, hacen converger nuevamente a un punto imagen todos los rayos que parten de un punto objeto, la construcción geométrica se transforma en un estereotipo automático, sin comprensión de los fenómenos reales.

La condición de suficiente de los rayos que se usan en las construcciones geométricas para obtener las imágenes se confunden con condición necesaria. De allí que en los

trabajos se registran que suponen que si algunos de esos rayos particulares se suprime la imagen no se forma.

Esto explica las falsas predicciones respecto a lo que se observa si se cubre parte de la lente o el espejo (Golberg F., Mc Dermott L., 1986; Pesa M., Cudmani L., Salinas J., 1992).

En la historia de la óptica la explicación de cómo se forman las imágenes tomó miles de años de reflexión; Kepler, si bien logró una explicación más o menos clara sobre la formación de la imagen en el ojo (o en la cámara oscura) no pudo aceptar la inversión de ésta respecto del objeto. La persistencia de las viejas teorías es muy grande.

Ya Aristóteles reconocía que si la luz saliera del ojo veríamos en la oscuridad. No obstante usa este modelo para explicar otros fenómenos relacionados con la visión.

Hay que esperar hasta Galileo y Newton para que estos problemas se aclaren y se estructuren en modelos menos contradictorios e incoherentes.

#### **IV. Modelos sobre el color de los objetos**

Para Platón el color de los objetos dependía del tamaño de sus “poros” de donde emanaba la luz.

Demócrito en cambio atribuye el color a la forma y a la velocidad de las partículas que salían de los objetos.

El modelo de Platón corresponde a la preconcepción más ingenua que hoy se detecta en las investigaciones: el “color” es una propiedad que depende sólo de la naturaleza del cuerpo coloreado: “el rojo, es una propiedad de la manzana”.

En Demócrito ya aparece alguna relación con las propiedades del “efluvio” velocidad (Tatton R., 1971), Aristóteles sostiene que el color es una propiedad de la luz que suponía blanca. Los objetos “contaminan”, “ennegrecen” a la luz: de la cantidad y calidad del ennegrecimiento depende el color. Parece un anticipo de lo que hoy conocemos como absorción selectiva.

Esta idea, que hace depender el color de algún tipo de interacción entre la luz y el objeto no aparece en el pensamiento preconceptual de los aprendices. La dependencia del color de la reflexión o absorción de la luz en la superficie del objeto no corresponde a ideas intuitivas.

Esto no es extraño si se tiene en cuenta que, en la experiencia diaria, el detector usual es el ojo y por ello el fenómeno físico color se confunde con la sensación de calor. A los aspectos físicos del fenómeno se le suman los factores fisiológicos y psicológicos.

Una de las más completas y recientes definiciones del concepto de color expresa: “Color es el atributo de los objetos que bajo condiciones de iluminación adecuadas, permiten a los observadores distinguir entre dos objetos de la misma forma y similares características superficiales”. “Sin objeto, sin luz o sin observador no hay color” (Sandoval J, 1989).

La “ciencia del color” no ha logrado aún consenso definitivo al respecto. Lo importante para el aprendizaje es que no pierda de vista que color es una sensación intersubjetiva en la que intervienen:

- la naturaleza del cuerpo coloreado
- la de la radiación que ilumina
- las características físico-psicológicas del observador

-la forma en que se realiza la observación

En el caso del calor se ponen claramente de manifiesto las complicaciones que generan confusiones y dificultades que aparecen cuando no se diferencian debidamente:

-la física de la luz

-el fenómeno de la visión

Ambos aspectos son fundamentales si deseamos que el alumno pueda usar la Física para interpretar sus observaciones y para entenderlas.

Históricamente, el primero en tomar conciencia del problema y disociar explícitamente ambos aspectos fue Kepler (1571-1630). Considera que los rayos luminosos se reflejan en los objetos, llegan al ojo donde el cristalino, actuando como una lente forma la imagen en la retina: sin embargo, la persistencia del modelo de la imagen no le permite aceptar que la imagen sea invertida.

Estas ambigüedades sobre el comportamiento de la luz, y visión de los objetos son las que originan las dificultades detectadas en la investigación sobre si se ve o no la luz y sobre hasta que distancia se propaga, tales como las detectadas por Bowvens (1987), cuando pregunta hasta dónde llega la luz de los focos de un automóvil. O desde dónde puede verse, etc... También se presentan estas confusiones en los cuestionarios que investigan sobre reflexión difusa (Cudmani L, Pesa M, Salinas J., 1991), sobre zona en que refleja luz un espejo (Goldberg F. Mc Dermott L., 1986)..etc.. La instrucción tradicional tiende a afianzar estas dificultades cuando ignora al observador. Se construyen diagramas y marchas de rayos entre sistemas físicos pero no se tiene en cuenta para nada que el ojo es también un instrumento óptico que interviene en el proceso y que la posición del observador respecto del sistema es fundamental para interpretar las observaciones. Cuando, ocasionalmente se lo considere se dibuja el ojo... en el eje óptico del sistema. Estas simplificaciones no corresponden en general a las situaciones reales, a las observaciones diarias de los aprendices.

De allí que sus preconcepciones están fuertemente arraigadas y sea necesario enfrentarlas con fenómenos que muestran la incoherencia de sus interpretaciones, las contradicciones en sus explicaciones. De otro modo no se producirá un cambio conceptual significativo y duradero.

## **V. Conclusiones**

La historia de la física muestra el largo y lento proceso de reflexión y análisis que requirió al hombre ir construyendo un sistema científico coherente sobre los fenómenos más simples relacionados con la luz y la visión. El paso de los paradigmas precientíficos a los científicos tomó más de 2000 años de reflexión, es recién con Kepler, Galileo y Newton que comienzan a plasmarse los modelos actuales: aún así hemos señalado cómo los viejos modelos vuelven a aparecer en estos pensadores; ellos han teñido además nuestro lenguaje hasta el punto que resulta difícil evitar expresiones como “la sombra que tal cuerpo arroja” o “tal objeto es de color verde”, o “hay poca luz acá” o “está aclarando” o “está luminoso”...

En este trabajo hemos tratado de mostrar cómo esos primeros modelos presentan grandes similitudes con las preconcepciones espontáneas, precientíficas, con que los aprendices

explican, interpretan, predicen la realidad. Su arraigo es grande porque son el producto de construcciones personales, que se han ido elaborando a lo largo de la vida.

Lo que nos interesa señalar es que en la enseñanza de la Óptica, en general, se pone muy poco énfasis en estos problemas. Los temas relacionados con la naturaleza de la luz, los mecanismos de producción de sombras, la reflexión difusa y sus diferencias con la especular, en resumen, las concepciones científicas básicas, se dan por obvias, y se pasa directamente a la sistematización y matematización más compleja.

Así, las preconcepciones permanecen, conviven con las concepciones de la física y reaparecen cuando menos lo esperamos al enfrentamos a situaciones problemáticas capaces de baterías aflorar. La eficiencia del docente que enfrenta esta problemática se manifestará en ser capaz de cambiar el signo del rol que estas preconcepciones juegan en el aprendizaje de la Óptica. En vez de considerarlas “errores” que es necesario desarraigar para implantar en su lugar los conceptos “correctos” de la ciencia, tarea difícil sino imposible, convendría usar estas preconcepciones como puntos de partida, como “subsunoers” (Ausubel D, 1973; Moreira MA, 1983), para elaborar las nociones científicas correspondientes (Cudmani L, Fontdevila P, 1990).

Es de esperar que esta estrategia de cambio que permite pasar de lo preconceptual a lo científico, enfrentando al aprendiz con las incoherencias y contradicciones de su modelo sea, por otra parte, la misma estrategia que más adelante permitirá el paso de los modelos científicos más simples y aproximados a los más complejos y profundos de la Óptica geométrica a la ondulatoria -a la de Fourier -etc. (Cudmani L, Salinas J, Pesa M, 1991), en un aprendizaje autónomo y permanente.

## Referencias

1. ANDERSON, B.; KARRQVIST, C. How swedish pupils, age 12-15, understand light and its properties. European Jour. Sci., V.5, n. 4, 1983.
2. AUSUBEL, D., NOVAK, J., HENESIAN, D. Aspectos psicológicos de la educación y la estructura del conocimiento, Recopilación de S. Elam, Buenos Aires: El Ateneo, 1978.
3. BOUWENS, R. Misconceptions among pupils regarding geometrical optics. Memorias del Segundo Seminario de Cornell sobre Misconceptions, Ithaca, New York, 1987.
4. BOIDO, G. Concepciones prenewtonianas en el aprendizaje de la Física. Memorias de REF IV, Tucumán, Argentina, 1984.
5. COLOMBO DE CUDMANI, L. La génesis de problemas y la transferencia de resultados en investigación educativa: Pub. de la Academia de Ciencias, V. 60, Cordoba, Argentina, 1991.
6. COLOMBO DE CUDMANI, L., FONDEVILA, P. Concepciones previas en el aprendizaje significativo del electromagnetismo. Enseñanza de las Ciencias. v. 3, 1990.
7. COLOMBO DE CUDMANI, L., SALINAS DE SANOOVAL, J., PESA DE DANÓN, M. La generación autónoma de conflictos cognocitivos para favorecer cambios de paradigma en el aprendizaje de la física. Aceptado para su publicación en Ens. de las Ciencias. 1991.

8. COLOMBO DE CUDMANI, L., PESA DE DANÓN, M., SALINAS DE SANDOV AL, J. Persistencia de los modelos intuitivos referidos a la naturaleza de la luz y la formación de imágenes -Una experiencia piloto. En prensa.
9. DELVAL, J Las ideas espontáneas de los alumnos en el aprendizaje de las ciencias: el caso de la luz. Revista de Educación. V 278, p.119-131, 1985.
10. FEHER, E., RICE, K. A comparison of teacher-student conceptions in optics. Memorias del Primer Seminario de Cornell sobre Misconceptions, 1985.
11. GUESNE, E. Children's ideas in Science -Light, Open University Press, Milton Keynes, U.K., 1985.
12. GOLDBERG, F., McDERMOTT, L. An investigation of student understanding of the real image formed by converging lens or concave mirror. Am Jour of Phys. V. 55, n. 2,1987.
13. GOLDBERG, F., McDERMOTT, L Student's difficulties in understanding image formation by a plane mirror. Physics Teacher. 1986
14. LOZANO, R. El color y su medición. Buenos Aires: Ed. America Lee, 1978.
15. LOZANO, R. El calor y la luz. Color y Textura. V 20, P 16-19,1985
16. LYTHCOTT, J. Aristotelian was given as an answer, but what was the question? Am. Jour. of Phys., V. 53, n. 5, 1985.
17. MOREIRA, M.A. Uma abordagem cognitivista ao ensino de Física. Porto Alegre: Ed. Universidade, 1983.
18. MICHAUD, L., ABTLES, J. L'interdisciplinarité -Problemes d'ensegements et de recherche dans l'université (citado por Rodrigues Dieguez, 1880), 1972.
19. PESA DE DANÓN, M. La evolución de las modelos en óptica cano heurística potencial en la formulación de estrategias instruccionales, Memorias de REF VII, Mendoza, Argentina, 1991.
20. PIAGET, J. Introducción a la epistemología genética. El pensamiento físico, 2, Buenos Aires: Ed. Paidós, 1975.
21. PIAGET, J. Epistemología de las ciencias del hombre. Tratado de lógica y pensamiento científico. Tomo VI, Buenos Aires: Ed. Paiós, 1979.
22. PIAGET, J., GARCÍA, R. Sicogénesis e Historia de la Ciencia. Buenos Aires: Ed. Siglo XXI, 1982.
23. SANDOVAL, J., SALINAS DE SANDOV AL, J La sensación de color: un problema de la Física? Memorias de REF VI, Bariloche, Argentina, 1985.
24. SANDOV AL, J. Es la "ciencia del color" una ciencia? Monografía inédita del Seminario de Epistemología de la Física, Inst. de Fisica, Univ Nac. de Tucumán, 1989 .
25. TATTON, R. Historia de las Ciencias V. I, II y III Barcelona: Ediciones Destino, 1971.
26. VIENNOT, L. Analysing student's reasoning: tendencies interpretation. Am. Journ. Phys., V. 53, n. 5,1985.