
METODOLOGIA CON ENFOQUE HISTÓRICO Y EPISTEMOLÓGICO PARA LA ENSEÑANZA DE LA OPTICA GEOMÉTRICA Y LA ESTRUCTURA DE LA MATERIA

W. MULHALL, M. MASSA, S. MARCHISIO Y P. SÁNCHEZ

Grupo de conceptualización en la enseñanza de la Física,
Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura
Universidad Nacional de Rosario - Av. Pellegrini 250 - 2000 Rosario - Argentina.

RESUMEN

La Historia de la Ciencia y la Epistemología constituyen recursos básicos para el análisis del proceso de conceptualización y el diseño de estrategias metodológicas.

En este trabajo se presentan los criterios seguidos para elaborar una propuesta para implementar cursos de: Introducción a la Teoría de la Estructura de la Materia y Óptica.

ABSTRACT

The History of Science and the Epistemology are basic resources for the analysis of process conceptualization and for the design of methodological strategies.

In this article are discussed the points of view to work out a proposal to set up two courses: An Introduction to the Theory Matter Structure and Optics.

Introducción

El proceso de aprendizaje debe atender al desarrollo de los diferentes niveles de conceptualización que caracterizan a una teoría científica como sistema formal. Se hace necesario reconocer en este proceso, aquellos conceptos que, a la luz de una etapa de síntesis, devienen como unificadores en el contexto de las diferentes teorías y aquellos que, sobre la base de una confrontación con lo real, se flexibilizan, se modifican y

se amplían en el contexto de una teoría.

En este proceso, el sujeto cognoscente evidencia sus preconceptos, experimenta sus contradicciones y en la medida en que trasciende, alcanza nuevos niveles de abstracción.

Consideramos como hipótesis de trabajo que el proceso de conceptualización seguido por el individuo durante su aprendizaje de la Física, guarda similitud con el seguido por el pensamiento científico para la configuración de las diferentes estructuras teóricas.

En la última década han sido comunicados trabajos que denotan la existencia de concepciones de tipo aristotélicas y pre-newtonianas en el pensamiento de alumnos que ingresan a estudios superiores y que poco se modifican por los cursos de Física^{(1), (2)}.

Esto muestra que la enseñanza basada en la transferencia de información a nivel de definiciones, leyes, descripciones, no modifican sustancialmente las formas de pensamiento por cuanto no favorecen procesos constructivos, que encarados a partir de una situación problemática establezcan la necesidad de definir operativamente, formular hipótesis, establecer modelos y validar los resultados alcanzados como consecuencia de un razonamiento hipotético-deductivo.

La introducción de una metodología que favorezca el proceso de conceptualización requiere contar con docentes sensibilizados

de su función, para desarrollar las capacidades internas del individuo que le permitan aprender y estructurar la realidad a través del pensamiento y el lenguaje en íntima relación.

En las Instituciones de formación de profesores de Argentina se suele trabajar en forma bastante aislada, por especialistas, el área de la Física y las Ciencias de la Educación. Este procedimiento se traduce en una transferencia de conocimientos y de recursos para abordar problemas físicos, que no siempre tienen en cuenta las dificultades que se generan en el proceso de conceptualización de un individuo. Estudiando la evolución de una teoría física y los preconceptos, se observan interesantes analogías.

En base a esto, se inició un trabajo para diseñar una metodología, que con un enfoque de tipo histórico y epistemológico, atendiendo a los referentes psicológicos en la estructuración de conceptos y esquemas explicativos favorezca la formación de los profesores, siguiendo el mecanismo de transformación de sus propios referenciales teóricos.

La Historia de la Ciencia permite trabajar la configuración de formas de pensamiento y las circunstancias que rodearon el enunciado de hipótesis trascendentes que sirvieron de sustento a los diferentes cuerpos teóricos. Desde su perspectiva, complementado con elementos epistemológicos, es posible investigar el proceso de re-creación de conceptos y modelos, de cambios paradigmáticos y resignificaciones asociados a determinantes políticos, económicos, sociales y tecnológicos. Es por ello que la Historia de la Ciencia y la Epistemología constituyen recursos básicos para el análisis del proceso de conceptualización y el diseño de estrategias metodológicas.

Una metodología que favorezca los cambios conceptuales debe operar de modo tal que frente a una situación nueva sea el sujeto quien desarrolle el proceso de búsqueda a través de la situación experimental y de posibles contradicciones.

Propuesta Metodológica para la formación de docentes

El denominado *Esquema de los tres espacios*, desarrollado por este grupo, constituye el referencial para el diseño de los contenidos y de la metodología propuesta.

La Historia de la Ciencia se introduce como un recurso básico para el análisis del proceso de conceptualización de la Física, así como para establecer los determinantes sociales, políticos, económicos y tecnológicos que confluyen en el mismo. No se la utiliza como una reseña cronológica de hechos, sino para identificar la gestación de formas de pensamiento y los mecanismos a través de los cuales las mismas devienen.

A-Introducción a la Teoría de Estructura de la Materia.

Tomando como eje de trabajo un curso introductorio a la Teoría de la Estructura de la Materia, se propone abordar los siguientes contenidos⁽³⁾:

- a- La construcción de modelos en Física.
- b- La conformación de un método y un modelo de materia en la antigüedad.
- c- El modelo atómico de Dalton. Una investigación de síntesis y predicción: Mendeleiev.
- d- Influencia de los experimentos en la formulación de nuevos modelos.
- e- Hacia una nueva forma de pensamiento: Bohr, Sommerfeld, Schrodinger. Pauli.

Un elemento básico para la consideración de la temática es el análisis de las tres concepciones del pensamiento griego que quedaría incorporadas a la cultura occidental: la línea aristotélica que suponía la existencia de un Universo lleno con materia diferenciada en agua, aire, fuego, tierra y éter, ligada al concepto de espacio, de tal manera que era absurda la concepción de vacío.

. la *línea atomista* (Demócrito, Leucipo) que sostenía la discontinuidad de la materia, con una estructura basada en unidades elementales o átomos y vacío;

. la *línea pitagórica* que, dando especial significado al número manifestaba la convicción de que los diferentes fenómenos pueden ser descritos a través de relaciones numéricas simples

La influencia en el conocimiento de la materia debido a los alquimistas, con su aporte al desenvolvimiento de un pensamiento práctico constituye también un interesante elemento de análisis.

Se propone luego, enfocar la atención sobre mediados del siglo XVII donde se destaca la transición de una descripción cualitativa hacia un enfoque que busca su formalización a través de lo cuantitativo (Galileo). Actitudes tales como la observación, la experimentación, la interpretación de resultados, la inferencia y la hipotización habrían de ir conformando una nueva metodología, como consecuencia de la valorización de lo práctico.

Se introduce luego la revolución científica generada por las teorías mecanistas, puestas de manifiesto en las obras de Boyle. A partir de las observaciones cuantitativas y leyes empíricas, se discute la necesidad de adoptar alguna representación o modelo para el sistema gaseoso. Es importante destacar que en estos modelos (estáticos y dinámicos) se ponen de manifiesto la concepción mecanicista de la época, el horror al vacío, el movimiento caótico, la existencia del éter y el concepto de calor como fluido.

El análisis de los modelos que se generaron progresivamente permitirá a los estudiantes destacar:

- la evolución de conceptos tales como: elementos químico, átomo, molécula, peso atómico relativo;
- el reconocimiento de la autoridad científica, basada en la relevancia de teorías existentes, como criterio de selección de líneas de pensamiento;

- la valoración de una teoría de acuerdo con su poder predictivo;
- la importancia de la experimentación, ya sea para la detección de regularidades, como para validar la formulación teórica;
- la resistencia a modificar conceptos establecidos;
- la búsqueda de la simplicidad y la discrepancia de opiniones acerca de esta última;
- la fascinación por los números enteros;
- la influencia de los trabajos de síntesis de la información experimental y la posibilidad predictiva derivada de ellos, destacándose en ésta el trabajo realizado por Mendeleiev.

Se analiza luego, el comienzo de la búsqueda de un marco teórico más amplio, que contemple la integración de la electricidad y la materia, ramas de la Física que hasta entonces eran consideradas independientes. Se propone el análisis de los trabajos de Davy, Faraday, Stoney, Plucker, Crookes, Thomson, Millikan, a los efectos de detectar:

- la transferencia de un modelo discontinuo de materia hacia un modelo discontinuo de corriente eléctrica;
- la importancia de los resultados experimentales sobre la electrólisis;
- la selección de parámetros macroscópicos para inferir propiedades microscópicas;
- la generación de un pensamiento de tipo cuántico;
- la "realidad" de los nuevos observables físicos;

- la vinculación tecnología-ciencia en el avance del conocimiento.

Las regularidades detectadas en el estudio de los espectros gaseosos constituyen un nuevo elemento a ser explicado en el marco de un modelo de materia. En este contexto se consideran las hipótesis con que se construyeron los modelos atómicos de Thomson, Rutherford y Bohr, su coherencia interna y relevancia explicativa.

La transferencia de la hipótesis trascendente de Planck a la estructura de la materia, se presenta como el tránsito hacia una nueva forma de pensamiento, con la necesidad de un nuevo formalismo teórico: la Mecánica Cuántica. Esto permite analizar con los alumnos cómo se inicia la generación del paradigma cuántico.

B-Optica.

La Optica constituye otro núcleo con el que se trabajó con esta metodología.

En el mismo se abordan las diversas teorías que desde la antigüedad buscaron un marco adecuado para describir e interpretar los fenómenos luminosos. Se proponen los siguientes contenidos para la estructuración del trabajo:

- Las concepciones acerca de la luz en la antigüedad.
- Los albores de la Optica Geométrica: Euclides, Herón, Alhazen.
- Los aportes de Kepler en el estudio de la refracción.
- Las teorías mecanicistas. Descartes, Newton.
- Hacia la construcción de un nuevo modelo: la teoría ondulatoria (Young, Fresnel).

Con el objeto de reconocer la génesis de algunos conceptos y el enunciado de las primeras hipótesis que dieron origen a las concepciones acerca de la luz en la antigüedad, se abordan las cuatro primitivas tendencias del pensamiento griego:

- la línea pitagórica que sostenía la existencia de los rayos visuales o "fuego" invisible que partiendo del ojo, propagábase en línea recta y al "tocar" los cuerpos en su camino revelaba la forma y el color de los objetos,
- la explicación de los estoicos que atribuían el origen del rayo visual pitagórico a una "respiración visual" que alcanzaba el objeto, ésto era visualizado cuando el aire estaba enrarecido por la acción de los rayos solares,
- la hipótesis epicúrea sostenida por los atomistas griegos Leucipo y Epicuro. Estos concebían imágenes de las partículas de materia sólida iguales en forma y color a los objetos de donde procedían, que al llegar al ojo y a la mente del sujeto, provocarían la visión.
- la llamada teoría platónica que sostenía que la luz era un "efluvio" o "fuego" que partiendo de los objetos, en su marcha hacia el ojo se encontraba con la llama sutil que emanaba de su interior a través de la pequeña abertura de la pupila.

Se destaca el hecho de que, a pesar de las confusas ideas acerca de la naturaleza de la luz, los griegos llegaron a adquirir un conocimiento empírico de las leyes de la reflexión y la propagación rectilínea de la misma.

Con este sustento, se analiza con los alumnos:

- la organización del estudio de los rayos luminosos realizada por los griegos surgida como necesidad de estructurar el conocimiento en la búsqueda de una formulación teórica:

- la óptica o estudio de la vista
- la catóptrica o estudio de la reflexión y efectos de los espejos

- escenografía y perspectiva
- dióptrica o medida de ángulos por medios ópticos
- estudio de la refracción
- los resultados experimentales que sirvieron de sustento a la formulación racional de Euclides dando nacimiento a la Óptica Geométrica.
- la correlación entre las propiedades y atributos asignados a la luz y su representación geométrica como formalización en el marco de la Óptica euclidiana.
- la adhesión de Euclides a la teoría pitagórica de los rayos visuales que lo lleva a la deducción de teoremas o leyes teóricas compatibles con el conocimiento empírico relativo a la reflexión, aún cuando haya considerado el supuesto falso del rayo procedente del ojo.

Del análisis de la obra de Ptolomeo surge:

- la incorporación de la experimentación como criterio de confrontación y validación de las leyes y efectos enunciados
- la detección de regularidades en su análisis experimental llegando con ello a la interpretación del fenómeno de la refracción

En la evolución de los conceptos, se destaca:

- el trabajo realizado por Alhazen en el siglo XI introduciendo el pensar helénico en occidente con el florecimiento musulmán en España.
- la influencia de la concepción mecanicista para justificar la refracción y la reflexión al adquirir importancia el concepto de la velocidad de la luz.

- la introducción por Al Farisi de dos hipótesis trascendentes:

- la velocidad de la luz es finita
- esta velocidad varía en los distintos medios transparentes

- el trabajo experimental de Kepler, su aporte en el diseño de instrumentos de medición, así como su afán en ajustar sin éxito aparente una ley empírica que representara la ley de la refracción.

Ya en el siglo XVII se analizan:

- la concepción mecanicista de Descartes, asociando a explicaciones relativas al comportamiento de la luz, las hipótesis exitosas en otras ramas de la ciencia.
- actitudes de observación, inferencia y búsqueda de regularidades que fueron valorizando la experimentación.

El análisis crítico que encara Boyle hacia 1663 de las obras de Platón, Aristóteles, Descartes y otros pensadores, marca la necesidad de establecer una teoría acerca de la naturaleza de la luz capaz de salvar las objeciones hechas a las ya propuestas y con capacidad para descubrir fenómenos experimentales y regularidades detectadas.

Los nuevos hechos experimentales observados por Grimaldi: la difracción y la interferencia, ponen de manifiesto ciertos aspectos relacionados con la propagación de la luz que se apartan de la descripción teórica conocida.

Las divergencias entre las situaciones experimentales y las descripciones ensayadas marcan la necesidad de una nueva interpretación de los hechos críticos. Esto provoca una revisión de los conceptos, así como la generación de otros nuevos.

La influencia de la Mecánica en el pensamiento científico de la época, así como los

modelos propuestos en relación con la constitución de la materia introduce, por analogía, las primeras hipótesis sobre la naturaleza de la luz. Es en esta época que el concepto de "éter" se incorpora como medio vinculado con la propagación de la luz. El trabajo se complementa con la consideración de las siguientes situaciones que orientan hacia la formulación teórica de la Óptica Física:

- los experimentos cruciales para el desarrollo de las nuevas teorías.
- la llamada "teoría de la emisión" a la que adhería I. Newton,
- la teoría ondulatoria, esbozada por Hooke y el Padre Pardies, que encuentra con C. Huygens mayor formalización,
- la interpretación de Young del fenómeno de interferencia,
- la teoría de Agustín Fresnel.

Conclusiones

La aplicación de estas propuestas en varios talleres de actualización con docentes, permite efectuar las siguientes consideraciones:

- a) la revisión histórica favorece un proceso de conceptualización, reduciendo los dogmatismos;
- b) se reconoce que los referenciales históricos de los docentes están vinculados a circunstancias de tipo anecdóticas, en muchos casos aisladas, y sin guardar una clara relación con formas de pensamiento de la época;
- c) se evidencia la necesidad de incluir en los planes de estudio para la formación de docentes, una asignatura donde se analice la Historia de la Ciencia atendiendo al proceso en que se desarrollan las teorías científicas, su relación con la tecnología y sus implicancias socioculturales;

d) un análisis de la Historia con este enfoque, facilita la comprensión de dificultades para internalizar conceptos en alumnos de nivel medio, terciario y universitario;

e) la metodología aplicada favorece la consideración de la Ciencia como construcción humana, con dos operaciones básicas: una creadora en la cual el hombre modeliza una realidad, y la otra, confrontadora, en la cual compara los hechos efectivos con su construcción imaginada;

f) se reconoce que las concepciones que los estudiantes ponen de manifiesto en sus esquemas explicativos reproducen, en muchos casos, estructuras conceptuales que históricamente se dieron en el proceso de construcción del pensamiento científico. La reflexión histórica permite operar sobre estas formas de pensamiento propiciando cambios hacia interpretaciones actuales.

Referencias Bibliográficas

- MC DERMOTT L., "Critical Review of Research in the Domain of Mechanics" International Summer Workshop": Research on Physics Education", La Londe les Maures, France, 1983.
- CLEMENT J., "Student preconceptions in introductory mechanics", American Journal of Physics 50, 66-71, 1982.
- MULHALL W., MASSA M., MARCHISIO S., SANCHEZ P., "Introducción a la teoría de la estructura de la materia" (libro en versión preliminar)
- SÁBATO J.A. (compilador): "El pensamiento latinoamericano en la problemática Ciencia-Tecnología-Desarrollo-Dependencia", Ed. Paidós, Buenos Aires 1975.
- MULHALL W., MASSA M., "Bases y lineamientos para un Programa

de Educación en Física", Revista de Enseñanza de la Física, Vol. 2, Nro. 2, 1988.

- MASSA M., MARCHISIO S., LOPERGOLO A., SANCHEZ P., MULLHALL W., "Influencias en la enseñanza generadas por la 'Física del Profesor'", Memorias de la V Reunión Nacional de Educación en la Física y RELAFI IV, Mar del Plata, 1987.
- CUDMANI L., LEWIN A., "El rol de la enseñanza de la Historia de la Física en la formación de licenciados y bachilleres", Actas de las Terceras Jornadas de Historia del Pensamiento Científico Argentino, 137-147, Bs. As., 1986.
- BUTTERFIELD H., "Los orígenes de la Ciencia Moderna", Ed. Taurus, Madrid, 1971.
- SARTON G., "Seis Alas", Ed. Eudeba, Bs.As., 1965.