

# TIPOS DE ENUNCIADOS EN FÍSICA. UN APORTE AL APRENDIZAJE SIGNIFICATIVO DE LA DISCIPLINA.

Salinas, J., Jaén, M.

*Instituto de Física, Facultad de Ciencias Exactas y Tecnología  
Universidad Nacional de Tucumán, Av. Independencia 1800, 4000 Tucumán.*

La incorporación de los estudiantes a un análisis epistemológico de la Física, lejos de constituir sólo un modo de propender a su formación más integral, parece representar una herramienta muy útil para favorecer el aprendizaje de la disciplina. En el marco de este objetivo, la temática de la explicación en Física y el problema de la identificación y clasificación de las leyes científicas y extra-científicas que intervienen en ella, aparece como una temática especialmente fértil. El desarrollo histórico y la estructuración gradual de la mecánica clásica se usan como eje conductor en este análisis, por considerarlo un paradigma del crecimiento de la disciplina. Se clarifica la utilidad didáctica de este análisis mediante su aplicación a la teoría newtoniana de la gravitación.

## INTRODUCCION

En los ciclos básicos universitarios de las Facultades de Ciencias, es habitual que la Física se enseñe y se aprenda con un enfoque centrado esencialmente sólo en los contenidos de las teorías científicas. En efecto, en los textos usuales son escasas las menciones a aspectos históricos o culturales; la relación ciencia-sociedad no aparece en general incorporada dinámicamente al desarrollo de la disciplina. Lo mismo cabe decir de los componentes epistemológicos: la reflexión sobre la naturaleza, los alcances y las limitaciones del conocimiento físico están comúnmente ausentes.

La incidencia negativa que tiene esta ausencia sobre el aprendizaje de la disciplina ha sido reiteradamente señalada en la literatura (1,2,3,4).

Nuestra experiencia docente en la cátedra "Elementos de Epistemología e Historia de la Física", del plan de estudios de la Licenciatura y el Bachillerato en Física de la Universidad Nacional de Tucumán, nos ha permitido constatar reiteradamente que la incorporación de los estudiantes a un análisis epistemológico de la Física puede conducir a un estudio integral de la disciplina, (5) comprendiendo hasta qué punto la construcción del conocimiento científico es una elaboración social a la vez determinada por, y determinante de, paradigmas culturales que exceden ampliamente lo puramente científico

En lo que sigue, pretendemos:

- Clarificar la función que desempeñan en la explicación científica las leyes ópticas atribuidas a la naturaleza, las leyes descriptivas o prescriptivas impuestas al mismo conocimiento físico, los diferentes tipos de leyes científicas.

- Justificar el valor de un análisis de este tipo como estrategia docente favorecedora de un aprendizaje significativo de la Física.

- Analizar la utilidad didáctica de una clasificación propuesta para las leyes científicas y meta-científicas interviniendo en las explicaciones nomológico-deductivas aplicándola a un caso concreto: la teoría newtoniana de la gravitación.

## LA EXPLICACION NOMOLOGICO - DEDUCTIVA

El problema de la explicación científica aparece como una temática especialmente fértil en su notable complejidad sintáctico-sustancial, en la riqueza de sus aspectos históricos, capaz de servir como un hilo conductor en el aprendizaje del conocimiento físico.

De acuerdo con Hempel<sup>(7)</sup>, en la explicación nomológico-deductiva el fenómeno se explica "mostrando que tiene lugar de acuerdo con ciertas leyes de la naturaleza y como resultado de ciertas circunstancias concretas".

Explicar un fenómeno "consiste en mostrar que su descripción se sigue lógicamente (por lo general, deductivamente) de las leyes generales y de los enunciados relativos a las condiciones antecedentes. De manera similar, explicar una ley es mostrar que ella se sigue lógicamente de otras leyes"<sup>(8)</sup>.

Esta concepción conduce a una visión jerarquizada de los enunciados físicos que intervienen en una explicación.

## EVOLUCION HISTORICA HACIA LA EXPLICACION NOMOLOGICO- DEDUCTIVA. LOS TIPOS DE ENUNCIADOS INVOLUCRADOS.

La Mecánica, paradigma de crecimiento de la disciplina es, en la actualidad un complejo sistema teórico con subsistemas internos de muy diversos grados de validación, elaboración, interconexión y dominios de aplicación.

Para llegar a ésto fue necesario que la disciplina recorriera el largo camino que la condujo desde las explicaciones animistas, antropomórficas o mágicas de sus lejanos comienzos hasta las explicaciones más racionales, objetivas y sistemáticas con que hoy intenta comprender la realidad que la rodea.

La especulación científica aparece con los griegos. Las hipótesis amplias con las que se intenta dar cuenta de los comportamientos observados, son convicciones filosóficas que los guían en la búsqueda de comprensión de los fenómenos naturales. Es indudable su importancia en la construcción del conocimiento científico, pues determinan el modo en que el científico se aproxima a los fenómenos percibidos. Pero de acuerdo con la epistemología ortodoxa no pueden ser considerados como parte de la teoría física, son principios heurísticos extra-científicos.

Según Bunge<sup>(9,10)</sup> hay "relaciones constantes que se cumplen en la naturaleza, las conocemos o no". Pero, se trate de relaciones con existencia real o de superestructuras conceptuales mediante las cuales el ser humano intenta imponer inteligibilidad en un universo caótico, la comunidad científica actúa guiada por la convicción que tales relaciones son accesibles y expresables. En la clasificación de leyes propuesta por Bunge, estos esquemas objetivos, o estructuras nómicas, que son leyes a nivel óptico, son simbolizados como "Leyes I".

En el caso del axioma apriorístico de los pitagóricos que expresa que el universo está regido por relaciones numéricas, la convicción filosófica se trastoca en regla epistemológica, normativa del hacer científico: es conveniente formular las leyes físicas en lenguaje matemático. Considerada como una concepción sobre la realidad, la postura pitagórica cabría entre las leyes I de la clasificación de Bunge. Pero, interpretada como una norma aplicable a los enunciados científicos, que es aceptada por la comunidad científica, aparece como un

típico enunciado epistemológico.

De acuerdo con la clasificación que propone Bunge, este tipo de fórmulas metanomológicas (a las que simboliza como "Leyes IV") "expresan rasgos efectivos o deseados de las fórmulas legaliformes"<sup>(10)</sup>. No retratan leyes de la naturaleza: se refieren a las leyes de la ciencia y operan como principios descriptivos o prescriptivos.

Con Aristóteles aparece otra norma epistemológica de cardinal importancia: la exigencia del rigor lógico en las deducciones científicas (11,12). No se trata de una ley científica pero es determinante para las características de los enunciados de la ciencia: sería también una ley IV.

La distinción entre movimientos naturales y movimientos violentos, la cesación del movimiento cuando cesa la acción de la fuerza motora, son "grandes leyes" de las que es posible deducir consecuencias particulares.

Se perfila aquí una "ley universal" de la Física, vale decir una hipótesis refutable que se propone como generalización. Es un claro esbozo del tipo de ley que en la clasificación de Bunge es simbolizado como Ley II.: una fórmula legaliforme o enunciado nomológico de una "reconstrucción cambiante de las leyes objetivas en el nivel del pensamiento racional". Se trata de una ley en sentido estricto.

Por otra parte, Aristóteles enuncia, sin ambigüedad alguna, varios enunciados nomopragmáticos (por ejemplo, las leyes, referidas a la velocidad de caída de los graves 13,14), a los que Bunge en su clasificación simboliza como Leyes III. Se trata de fórmulas legaliformes "de bajo nivel" que expresan pautas constantes de la experiencia y engloban toda regla mediante la cual pueda regularse la conducta de un fenómeno científico.

A partir de los enunciados nomológicos y nomopragmáticos pueden deducirse gran número de "reglas fundadas": leyes V en la clasificación de Bunge. En general, las reglas prácticas se utilizaron mucho antes de que las leyes generales fueran elaboradas y, cuando éstas se enuncian, aquéllas encuentran su fundamentación en el marco de la teoría respectiva.

Muchas otras nuevas reglas que se utilizan en problemas prácticos específicos, se deducen también de las leyes.

La Mecánica debe a Newton la formulación de la ley de gravitación universal, formulación que cumple con los requisitos mencionados para las

Leyes II. A partir de esta ley universal Newton deriva explicaciones y predicciones para fenómenos en los más diversos ámbitos.

Newton comienza la exposición de su teoría a partir de definiciones y axiomas. No los crea a todos. Galileo y Hygens son, sin duda, sus predecesores. Pero Newton los formula rigurosamente y los establece como base de la Mecánica.

De la maraña de Leyes III de menor generalidad, definiciones y conceptos no siempre claramente definidos que coexistían en la Mecánica, Newton selecciona los primitivos, los necesarios y suficientes para construir la teoría general de la disciplina.

También encontramos en los "Principia" algunas reflexiones de Newton sobre las "reglas de razonamiento en filosofía<sup>(12)</sup>", normas metodológicas que a su entender deben guiar la actividad científica: son Leyes IV.

La formulación axiomática de la Mecánica de Newton culmina con los aportes de Euler y Lagrange, quienes respectivamente reescriben las leyes usando el cálculo infinitesimal y confieren la forma analítica definitiva a todo el cuerpo de la Mecánica.

Tanto las leyes de Lagrange como las de Newton son Leyes II, aunque las primeras son de mayor nivel pues contienen a las segundas. Ambas son, en última instancia, aproximaciones diferentes que reconstruirían una supuesta Ley I o regularidad objetiva de la naturaleza.

La Relatividad y la Mecánica Cuántica incorporan definitivamente, Leyes IV tales como: "la descripción de los fenómenos electromagnéticos debe ser invariante respecto de sistemas de referencia inerciales", o el principio de correspondencia, que establece que "en el límite, las teorías cuánticas deben coincidir con las clásicas", etc.

#### **APLICACION DE LA CLASIFICACION DE LEYES A LA TEORIA NEWTONIANA DE LA GRAVITACION UNIVERSAL**

La Ley I (nómina, a nivel óptico) correspondiente es desconocida en este caso como en otro cualquiera, y por lo tanto inexpresable. Sólo podría enunciarse, vagamente, como la convicción de que las masas interaccionan.

La Ley II (nomológica) correspondiente, es la aproximación newtoniana a ese supuesto esquema objetivo de la naturaleza. En esta teoría toma la

forma de la conocida expresión matemática:

$$F = G m m'/d^2$$

en la que G es una constante universal y d es la distancia entre las masas puntuales m y m'.

Sólo como una de las numerosísimas leyes nomopragmáticas que es posible deducir de la ley nomológica de la gravitación universal newtoniana, tomemos el caso de la expresión para calcular el valor de la aceleración de la gravedad terrestre a una distancia d medida desde el centro de la Tierra:

$$g = GM/d^2$$

donde G es una constante que depende del sistema de unidades de medición adoptado, M es la masa de la Tierra y d es una distancia mayor que el radio terrestre.

En cuanto a las fórmulas metanomológicas (leyes IV), referidas específicamente a la ley newtoniana de la gravitación universal, encontramos tanto normas descriptivas como prescriptivas: "vale sólo para masas puntuales", "supone un espacio euclidiano", "es aplicable a cuerpos celestes y terrestres", etc.

Finalmente, las reglas fundadas que pueden deducirse (Leyes V) son también numerosísimas. Incluyen aquellos enunciados que, basados en las leyes nomológicas y nomopragmáticas de la teoría, sirven como reglas para determinados casos. Como ejemplo podríamos dar el enunciado: "el valor de la aceleración de la gravedad terrestre se mantiene constante dentro de un 3% si la altura sobre el nivel del mar no excede de 100 metros, supuestos latitud y longitud constantes".

#### **CONCLUSIONES**

Han sido muchos los intentos epistemológicos serios que se han hecho para poner un poco de orden en el verdadero enjambre de leyes que utiliza el hombre de ciencia. Entre los esquemas clasificatorios que conocemos, creemos que el aporte hecho por M. Bunge es fecundo por la claridad y el rigor con que discrimina los niveles de clasificación.

Esta clasificación permite clarificar el papel desempeñado por distintos tipos de enunciados intervinientes en un cuerpo de conocimientos físicos. El alumno puede emplearla como una herra-

miénta de análisis, útil para dotar a su aprendizaje de una perspectiva globalizadora y estructuradora.

Queremos destacar que, al incluir en la clasificación a las leyes I (ónticas) y IV (metanomológicas), se facilita la incorporación explícita de la discusión sobre las relaciones

- ciencia/paradigmas sociales y culturales

- ciencia/epistemología

lo que puede favorecer una comprensión más profunda del conocimiento físico y un aprendizaje más eficaz de la disciplina.

Una versión preliminar de este trabajo ha sido presentada en la "Cuarta Jornada de Pensamiento Científico Argentino" realizadas en Rosario en Junio de 1988.

#### AGRADECIMIENTOS.

Agradecemos a la Lic. Leonor Colombo de Cudmani, profesora titular de la cátedra "Elementos de Epistemología e Historia de la Física", por sus valiosos aportes y sugerencias.

#### BIBLIOGRAFIA

1. Rogers P. J., European Journal of Science Education, Vol 4, No.1, 1 - 10.(1982).
2. Aikenhead G. S., Science Education, 64(4),453-475,(1985).
3. Hamburger A. I., *Por qué História e Filosofia da Física no Ensino da Física?* Publicación P-513 del Instituto de Física de la Universidad de San Pablo, Brasil.(1985).
4. Hewson P. W., European Journal of Science Education, Vol. 7, no.2, 163- 172.(1985).
5. Cudmani L. C., Salinas de Sandoval J. Enseñanza de las Ciencias, número extra (III Congreso), Tomo I, 17-18.(1989).
6. Kuhn T., *La estructura de las revoluciones científicas.* Fondo de Cultura Económica. México.(1971).
7. Hempel C. G. *Filosofía de la Ciencia Natural.* Alianza Editorial. Madrid.(1987).
8. Losee J. *Introducción histórica a la filosofía de la Ciencia.* Alianza Editorial. Madrid.(1987).
9. Bunge M., *La Ciencia, su método y su filosofía.* Ed. Siglo XX, Buenos Aires. (1980).
10. Bunge M., *La investigación científica.* Ed. Ariel. Barcelona. (1985).
11. Papp D. *Historia de la Física.* Ed. Espasa Calpe. Madrid.(1961).
12. Taton R. *Historia general de las ciencias.* Tomos I y II. Ed. Destino. Barcelona. (1971).