

Índice

Introducción	13
Curiosidad y desconcierto	13
¿Está la clave de la ciencia en el lenguaje?	15
Galileo y Maxwell como creadores de lenguaje científico ...	18
Verificación de la teoría y aplicación técnica	19
El trasfondo creativo de la ciencia	22
Orden temático	26
Estilo y lectores potenciales	29
1. Lenguaje simbólico y ciencia.....	33
1.1. Introducción.....	33
1.2. Lenguaje común y lenguaje científico	40
De lo particular a lo general.....	42
1.3. Simbolismo científico	51
Idealización y simbolización	54
Comprensión a través de los símbolos	57
1.4. Simbolización matemática.....	60
Simbolismo y representación gráfica.....	65
1.5. Sentido y comprensión de los enunciados teóricos	66
2. Idealización y experimento mental	71
2.1. Introducción.....	71
2.2. Idealización en la ciencia	72

2.3. Experimento mental	76
2.4. La creatividad científica.....	81
La analogía científica	82
3. Geometría y mecánica en Galileo.....	89
3.1. Introducción.....	89
3.2. La herencia rehusada de Aristóteles.....	92
3.3. Antecedentes del método científico.....	100
La ciencia medieval	100
La geometría de Euclides.....	105
3.4. La ley de la palanca y la mecánica aristotélica	109
3.5. Método físico-geométrico de Arquímedes	113
Determinación del área de un segmento de parábola	116
3.6. El secreto de las máquinas simples	120
La materia idealizada	125
Simbolismo operativo	129
Aplicaciones mecánicas.....	130
Distancias diferentes recorridas en el mismo tiempo	136
4. En torno a los cuerpos flotantes.....	139
4.1. Introducción.....	139
4.2. La <i>Bilancetta</i>	140
4.3. Un debate científico	144
4.4. Acerca de los cuerpos flotantes.....	148
5. Lenguaje geométrico de Galileo	157
5.1. Introducción.....	157
5.2. Geometría y Cinemática	161
5.3. Descripción simbólica de la naturaleza.....	167

6. Analogía y metáfora en Maxwell.....	178
6.1. Introducción.....	178
6.2. Base empírica de la teoría.....	181
6.3. El modelo hidrodinámico de Maxwell	187
6.4. Líneas de corriente y líneas magnéticas	191
6.5. Comprobación del modelo.....	196
6.6. Pretendida realidad de las <i>líneas de fuerza</i>	201
6.7. Del fluido ideal al <i>campo electromagnético</i>	207
El triunfo del formalismo.....	207
Propagación de la luz como onda electromagnética.....	210
6.8. Instrumentalismo y realismo en la teoría electromagnética	211
7. Teorías y modelos.....	221
7.1. Introducción.....	221
7.2. Tres clases de modelos idealizados	224
Modelo de origen empírico.....	226
Modelo teórico	240
Modelo operativo	249
7.3. Modelos y símbolos científicos.....	252
7.4. Génesis y formación de teorías según Einstein	263
8. Sentido metafórico de las teorías físicas	271
8.1. Introducción.....	271
8.2. Las teorías de la Relatividad.....	272
8.3. La metáfora científica.....	285
8.4. Tentativas de unificación.....	289
8.5. Teoría de cuerdas	294

8.6. Del momento mecánico al <i>bosón de Higgs</i>	302
El bosón de Higgs	309
8.7. Objetos reales y simbólicos.....	312
9. Realidad e idealidad de la ciencia.....	321
9.1. Introducción	321
9.2. ¿Ficciones o realidades?	322
9.3. El conocimiento científico	329
9.4. Las discrepancias entre predicción y verificación	334
9.5. La visión científica del mundo	340
9.6. El significado de las leyes científicas	348
9.7. Idealidad y realidad de la ciencia	354
Bibliografía	367
Índice Onomástico	381

INTRODUCCIÓN

Curiosidad y desconcierto

En las últimas décadas, el interés por conocer la estructura física del universo ha rebasado las estrictas fronteras de la investigación científica. Los misterios de la naturaleza que en otro tiempo sólo interesaban a los científicos recluidos en universidades y centros de investigación, en nuestros días atrae también la atención de muchas personas que, gracias a los medios de comunicación y a otros canales de divulgación, han sido cautivadas por las imágenes que llegan a nuestro planeta desde las naves espaciales que surcan el espacio recorriendo cientos de millones de kilómetros.

A menudo, provoca cierto grado de confusión la información sobre los últimos descubrimientos físicos que pretenden revelar cómo fueron los albores del universo y su evolución a lo largo del tiempo y del espacio. Las teorías físicas actuales suelen mencionar extraños objetos y entidades desconocidas, tales como agujeros negros, antimateria, materia oscura, energía oscura, etc., cuyos significados, sin embargo, no encuentran acomodo en la común experiencia humana. Así mismo, cuando las modernas teorías físicas tratan de explicar cuál es la composición y estructura íntima de la materia, deben apelar a un conglomerado de interacciones entre partículas atómicas y subatómicas, tales como protones, electrones, fotones, etc., algunas de las cuales están integradas a su vez por otras partículas de menor tamaño, como quarks, neutrinos, bosones, etc., que inducen a preguntarse si estas partículas elementales, como el llamado bosón de Higgs, constituyen verdaderamente los pilares sobre los que se asienta el universo.

Ante éstas y otras nociones de la física actual, que tratan de explicar los secretos que se encierran en el macrocosmos y el microcosmos, el lector deseoso de conocer los avances de la investigación puede tener la impresión de estar atrapado en un enigmático mundo cuya descripción en el lenguaje ordinario no es posible. Y, además, en muchos casos, sus planteamientos son incompatibles con las leyes elementales de la lógica natural.

Admito que ese estado de confusión mental no me es ajeno y que comparto cierta perplejidad con muchos de los lectores apasionados por conocer los descubrimientos de la física contemporánea; pero que, tras la espesura conceptual y las complejidades matemáticas, les asalta la duda acerca de la veracidad, o realidad, de tales construcciones mentales. Aún resulta más incómoda esa situación personal, teniendo en cuenta que el autor de estas páginas ha dedicado más de 45 años de su vida profesional a la enseñanza e investigación de la física en universidades estatales. Se comprende así, en buena parte, la motivación particular que inspira estas páginas, las cuales tratan de buscar una respuesta solvente a las incertidumbres apuntadas. Cuestiones, que por otra parte, surgieron en la ciencia a principios del siglo pasado, con las teorías de la relatividad y de la mecánica cuántica, sin recibir explicación adecuada en el campo estrictamente científico.

A título de ejemplo, la conocida como “paradoja de los gemelos”, ideada por la fértil imaginación del astrónomo inglés Arthur Eddington (1882-1944), ilustra las consecuencias de la “teoría especial de la relatividad”. Según sostiene esa teoría, a grandes velocidades cercanas a la de la luz, el tiempo transcurre más lentamente, por lo cual, si uno de los gemelos permanece en la Tierra, mientras que su hermano viaja a gran velocidad cruzando el espacio sideral y alejándose cada vez más de su punto de partida, la vida de este gemelo viajero —según la estipulación relativista— transcurriría más despacio, y en consecuencia su existencia se alargaría en comparación con la del otro hermano que permanece en la Tierra.

Es evidente que este supuesto o “experimento mental” concebido en el seno de la teoría relativista de Einstein, no resiste cualquier juicio coherente con la lógica ordinaria, ya que es imposible encajar

los hechos supuestos con la experiencia habitual. Puesto que si los sometemos al dictado del sentido común, es innegable que en el citado “experimento ideal” se está identificando la noción de trascurso del tiempo, como concepto físico, con el de duración y subsistencia de un organismo vivo sometido a su propio ritmo biológico.

¿Está la clave de la ciencia en el lenguaje?

El caso referido revela la necesidad de precisar el significado de los términos que se utilizan en las teorías físicas. El lenguaje científico debe ser necesariamente un modo de expresión riguroso y preciso, de forma que se elimine toda ambigüedad en su significación. Pero la ciencia empírica no se ocupa de la construcción del lenguaje, ni tiene por objeto analizar los conceptos que usa, ni siquiera repara en el método que sigue en sus descubrimientos. Está justificado que los investigadores, en el ejercicio de su actividad propia no se ocupen de analizar el medio de expresión que utilizan para describir los fenómenos¹ que estudian. Sencillamente, emplean términos ya acuñados por sus antecesores y si es necesario los adaptan a las nuevas circunstancias. En particular, al comienzo del trabajo experimental recurren a los mismos términos del lenguaje común, a los que asignan un sentido apropiado a la finalidad que persiguen en sus investigaciones.

Desde luego, el lenguaje científico no juega un papel menor en el cultivo de la ciencia y en la construcción de las teorías. Por ello, se justifica que a principios del siglo pasado surgiera un interés creciente en el campo filosófico por estudiar —con la perspectiva de la filosofía del lenguaje— los fundamentos del método científico y, en particular, por conocer los medios de expresión utilizados por la ciencia empírica. Así, en la segunda década del siglo XX, del tronco común de la filosofía, nació la conocida como “filosofía de la ciencia”, especialidad emparentada con la lógica y la epistemología, que germinó

¹ Aquí se utiliza el término “fenómeno” (phainesthai) para referirse al aspecto o apariencia que se manifiesta en primer plano al observador. A partir de esa percepción inicial comienza la investigación para dar razón del fenómeno y comprender cuáles son los mecanismos naturales que lo originan.