

LA FÍSICA

una odisea en la escalera de Jacob

DIÓGENES CAMPOS ROMERO



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ
JORGE TADEO LOZANO

La física, una odisea en la escalera de Jacob



UNIVERSIDAD DE BOGOTÁ
JORGE TADEO LOZANO

Campos Romero, Diógenes

La física, una odisea en la escalera de Jacob / Diógenes Campos Romero. – Bogotá: Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, 2012.

304 p. : il. (algunas col.) ; 24 cm.

ISBN: 978-958-725-097-8

1. FÍSICA 2. CIENCIA - HISTORIA. 3. TEORÍA CUÁNTICA. I. tit.

CDD530”C198”

Fundación Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano

Carrera 4 N° 22-61 – PBX: 242 7030 – www.utadeo.edu.co

La física, una odisea en la escalera de Jacob

ISBN: 978-958-725-097-8

Primera edición: 2012

Rector: José Fernando Isaza Delgado

Vicerrector Académico: Diógenes Campos Romero

Director editorial (E): Jaime Melo Castiblanco

Coordinación editorial y revisión de textos: Henry Colmenares Melgarejo

Diseño y diagramación: Diógenes Campos Romero

Diseño e ilustración de carátula: Samuel A. Fernández Castro

Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio sin autorización escrita de la Universidad.

Diógenes Campos Romero

**La física, una odisea
en la escalera de Jacob**

*Este libro está dedicado a mi hijo
David Hernán Campos Rocha; a mi
nieta Juan Sebastián y su hermano
Edward Rogers; y a mis nietas,
Alexandra y Natasha.*

Índice general

1. Sobre la ciencia y sus orígenes	17
1.1. Introducción	17
1.2. Suposiciones subyacentes a la ciencia	22
1.3. La ciencia es una construcción social	26
1.4. Orígenes griegos de la ciencia	31
1.5. Constitución de la materia y atomismo griego	35
1.6. El paradigma escolástico	39
2. Abstracción en matemática y en ciencia	41
2.1. La abstracción y sus niveles	41
2.2. De Euclides a Descartes	43
2.3. De los números naturales a los complejos	51
2.4. La ley de Galileo de la caída libre	55
3. De la física de Aristóteles a la de Newton	57
3.1. El concepto de cosmovisión	57
3.2. Cosmovisión aristotélica	59
3.3. El Renacimiento	67

3.4.	Cosmovisión geocéntrica del universo	69
4.	La revolución científica del siglo XVII	71
4.1.	Precusores de Newton	71
4.2.	Descartes y el origen del reduccionismo	76
4.3.	Newton y la ley de gravitación natural	78
4.4.	Suposiciones de la mecánica newtoniana	84
4.5.	La imagen determinista del universo	89
4.6.	Los principios newtonianos	98
4.6.1.	Las leyes de Newton	98
4.6.2.	Cosmovisión newtoniana	99
4.6.3.	La acción divina	102
4.7.	El cambio de paradigmas	105
5.	Sobre el modelado de sistemas	107
5.1.	Introducción	107
5.2.	Sistemas simples, complicados y complejos	110
5.2.1.	Los seres vivos como sistemas abiertos	112
5.2.2.	Niveles y propiedades emergentes	114
5.3.	Modelado de sistemas naturales	115
5.4.	La mecánica clásica	120
5.4.1.	Formulación de Lagrange	123
5.4.2.	Formulación de Hamilton	125
5.4.3.	Evolución de la mecánica	128
5.5.	Determinismo no implica predictibilidad	130

6. Determinismo, caos y atractores	139
6.1. Modelo de Lorenz	140
6.2. Atractores y su clasificación	145
6.3. Bifurcaciones en sistemas dinámicos	150
6.4. Comportamiento no lineal	153
6.5. Tres mundos distintos	156
6.6. Clasificación de los sistemas dinámicos	158
6.7. Modelo logístico, paradigma del caos	161
7. Estructura fractal de la naturaleza	169
7.1. Introducción	169
7.2. Fractales y algunas propiedades	172
7.2.1. El fractal de Cantor, un ejemplo	172
7.2.2. Dimensión de Hausdorff	174
7.2.3. La propiedad de escalamiento	176
7.2.4. Fractal de Mandelbrot y curva de Koch	178
7.3. Aplicaciones de los fractales	181
7.4. Del caos a la creación de información	185
8. La naturaleza de la realidad	189
8.1. La física: una red de teorías	189
8.2. Subjetividad y objetividad en la ciencia	192
8.3. Los constituyentes del universo	196
8.4. La teoría electromagnética	203
8.5. Cosmovisión electromagnética de la naturaleza	206

8.6.	La relatividad especial y general	210
8.6.1.	Tiempo y espacio newtonianos	210
8.6.2.	Tiempo y espacio en la relatividad especial	211
8.7.	El cono de luz en la relatividad	216
8.7.1.	Tiempo y espacio en la relatividad general	217
8.8.	Probabilidad	221
8.9.	Entropía e información	225
8.10.	La flecha del tiempo	230
8.11.	Sistema o estructura disipativa	232
9.	Mecánica cuántica: ciencia de la incertidumbre	237
9.1.	La física hacia el año 1900	237
9.2.	El surgimiento de la mecánica cuántica	241
9.2.1.	Elementos históricos	241
9.2.2.	Naturaleza corpuscular de la luz	244
9.3.	El modelo atómico de Niels Bohr	251
9.4.	Naturaleza ondulatoria de la materia	254
9.5.	El dominio de la mecánica cuántica	261
9.6.	Descripción objetiva y causalidad	271
9.6.1.	La interpretación de Copenhague	271
9.6.2.	Los múltiples universos	274
9.7.	Cosmovisión cuántica	281
9.8.	Epílogo	285
	Referencias	288

Índice general 11

Índice alfabético 297

Prefacio

La Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano y la Universidad Central desarrollaron durante el segundo semestre de 2011 la Cátedra “Fausto: Mito & Ciencia”. Las interesantes conferencias sirvieron de estímulo para emprender la tarea de revisar la literatura y escribir unas notas en las que se esbozan elementos de la evolución conceptual de la física.

El trabajo se titula: *La física, una odisea en la escalera de Jacob*. Por analogía con la “escalera de Jacob” que se menciona en la Biblia, la presentación de los temas en este trabajo se guía por la idea de que la física ha evolucionado a través de una serie de peldaños, que reciben el nombre de paradigmas, y que los seres humanos ascendemos y descendemos en el campo del conocimiento a través de esa escalera que se apoya en la tierra conceptual de la Grecia antigua y que toca el cielo con el surgimiento de la mecánica cuántica. Pero a diferencia de la escalera bíblica cuyo propósito era permitir a los ángeles ascender y descender del cielo, la escalera de la ciencia conduce al territorio del conocimiento

y cada uno de sus peldaños abre las puertas a un mundo por explorar, a una odisea con múltiples aventuras en el campo de la ciencia. Esta escalera es el medio mediante el cual se unen las diferentes áreas que estudian la naturaleza y se transfiere información y conocimiento de una generación a la subsiguiente, incluyendo la clausura de algunos peldaños en razón de su obsolescencia.

El libro es una excursión en algunos temas de la historia de la física, entendiendo que el subconjunto de temas seleccionados es solo una opción entre muchas otras posibilidades; es decir, que se podrían involucrar otros temas y conceptos. La elección se fundamenta en el criterio del autor de ofrecer al lector temas que sean apropiados para iniciarlo en un campo que es en sí multifacético.

Por costumbre del autor, pero sobretodo porque la matemática es el lenguaje en el que se ha escrito la física, en este trabajo se incorporan algunas ecuaciones; sin ellas sería prácticamente imposible precisar el significado y la relevancia histórica en el desarrollo de la ciencia. No obstante, el autor hace un esfuerzo por reducir el número de ecuaciones y describir las ideas sin entrar en detalles técnicos, de tal manera que el trabajo sea accesible a un amplio número de personas interesadas en conocer la evolución de la ciencia.

Felicitaciones a los rectores José Fernando Isaza Delgado y Guillermo Páramo Rocha de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo

Lozano y de la Universidad Central por la iniciativa, y a los Consejos Directivos de estas instituciones por acogerla en el 2011, en el sentido de propender hacia la consolidación de una confederación universitaria que sea un modelo de cooperación y organización en la educación superior. Alrededor de esta iniciativa surgió la Cátedra “Fausto: Mito & Ciencia”, cuyo diseño contó con la guía del colega y amigo, profesor Carlos Augusto Hernández Rodríguez; cátedra que sirvió de inspiración para escribir estas notas dedicadas a la ciencia.

Agradecimientos a mi esposa Martha H. por comprender que el tiempo dedicado a la escritura de este trabajo contribuye también al placer de la vida.

Bogotá, abril de 2012

Diógenes Campos Romero¹

¹ Vicerrector Académico de la Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano, Miembro de Número de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales.

Capítulo 1

Sobre la ciencia y sus orígenes

Resumen

Los propósitos de este capítulo son: (*a*) introducir al lector en el concepto general de ciencia, (*b*) hacer explícitas algunas suposiciones que subyacen a ella, (*c*) enfatizar que la ciencia es una construcción social con reglas de juego básicas que define el método científico y (*d*) esquematizar los orígenes de la empresa científica, que se remontan a la Grecia antigua.

1.1. Introducción

Los primeros lenguajes escritos aparecieron unos 3000 años antes de Cristo (a.C.), iniciando con la lengua sumeria que se habló en Mesopotamia (parte sur del Iraq moderno). En los siglos V y VI a.C., la alfabetización era un elemento importante en la cultura griega, lo que permitió escribir las ideas y almacenar información.

Este elemento, combinado con el conocimiento matemático que los griegos recibieron de Egipto y Mesopotamia, en conjunto con la posición geográfica excepcional de Grecia, permitieron que la ciencia y la filosofía emergieran en una sociedad que estaba orientada por diversidad de mitos, centrados en los dioses del Olimpo.

En toda sociedad, el *porqué* y el *cómo* son preguntas que surgen por la curiosidad y por el deseo de entender los fenómenos observados o responder a los temores e inquietudes del ser humano: ¿cuál es el origen y el destino del universo?, ¿es el universo finito o infinito?, ¿porqué el tiempo es diferente del espacio?, ¿cómo surgió la vida?, ¿existe la vida después de la muerte?, ¿existe la predestinación?, ¿qué produce los terremotos?, ¿porqué existen los rayos, las tormentas o los truenos?, ¿cómo se origina el cambio climático?

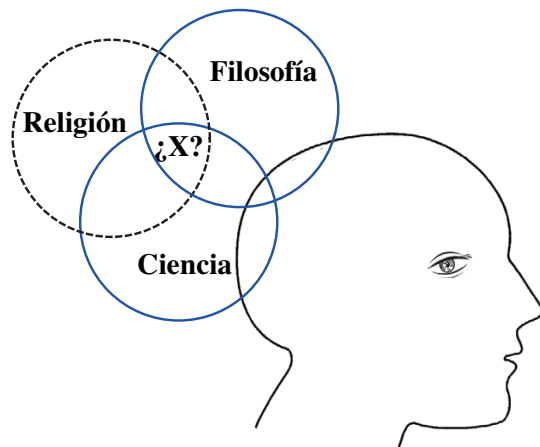


Figura 1.1 Tres pasiones del ser humano: ciencia, filosofía y religión. Ver también la sección 8.1.

Los griegos proporcionaron respuesta a sus inquietudes con la mitología, la filosofía y la ciencia. En el mundo contemporáneo las respuestas provienen predominantemente de la religión, la filosofía y la ciencia (figura 1.1).

En la sesión del 14 de noviembre de 1999 el Consejo de la Sociedad Americana de Física se preguntó qué es ciencia y respondió (traducción libre) [1]:

Ciencia es la empresa sistemática de adquirir conocimiento sobre el universo y de organizar y condensar ese conocimiento en leyes y teorías que puedan someterse a prueba.

El éxito y la credibilidad de la ciencia se ancla en la voluntad de los científicos para:

1. Exponer sus ideas y resultados para que otros las verifiquen y reproduzcan de manera independiente. Para esto se requiere el intercambio abierto de datos, procedimientos y materiales.
2. Abandonar o modificar conclusiones aceptadas previamente cuando se confrontan con evidencia más completa o confiable, experimental u observacional.

La adherencia a estos principios proporciona el mecanismo para la auto-corrección de la ciencia y constituye el fundamento para su credibilidad.

En general, el término *ciencia* se refiere tanto al conocimiento científico como a la manera de adquirir tal conocimiento mediante el método científico. Este se entiende como los principios y procedimientos para la búsqueda sistemática de conocimiento mediante la observación y el razonamiento, incluyendo el reconocimiento y formulación de un problema, la colección de datos por medio de la observación y el experimento, la formulación y sometimiento a prueba de hipótesis, la estructuración mediante principios y leyes generales.

Albert Einstein (1879-1955) en la exposición “El espíritu religioso de la ciencia” se expresa en los siguientes términos [2, 3]:

No sería difícil llegar a un acuerdo respecto a lo que entendemos por ciencia. Ciencia es el empeño, ya secular, de agrupar por medio del pensamiento sistemático los fenómenos perceptibles de este mundo en una asociación lo más amplia posible. Dicho esquemáticamente, es intentar una reconstrucción posterior de la existencia a través del proceso de conceptualización. Pero cuando me pregunto lo que es la religión, no puedo dar fácilmente con una respuesta. E incluso después de dar con una que pueda satisfacerme en ese momento concreto, sigo convencido de que nunca podré, de ningún modo, unificar, aunque sea un poco, los pensamientos de todos los que han prestado una consideración seria a esta cuestión.

Ilya Prigogine, Premio Nobel de Química en 1977, refiriéndose al origen de la ciencia occidental, escribe [4]:

La ciencia solo aparece en función de la idea que los hombres se hacen del universo. Si un pueblo está convencido de que hay un Creador en el origen del mundo, y que aquel determina su futuro, eso quiere decir que hay unas leyes y un futuro discernibles. En el siglo XVII, recuerda Prigogine, las leyes de la naturaleza reflejaban la existencia de un Legislador supremo. Correspondía, por tanto, a los sabios descifrar esas leyes divinas, y esos sabios tenían vocación de volverse omniscientes: la aparición de la ciencia moderna en Occidente, en el siglo XVII clásico está en concordancia con la teología de la época.

Galileo, Newton, Leibniz, Einstein, son personajes que encarnan este concepto de la ciencia; la expresión “Dios no juega a los dados” es un indicio de la creencia de Einstein en unas leyes universales deterministas que subyacían en la estructura de la naturaleza.

En su artículo “Ciencia como una aventura”, Hermann Bondi expresa [5]:

La primera tarea de un científico es proponer una teoría compatible con el conocimiento empírico actual, pero que sea capaz de predecir el resultado de futuros experimentos u observaciones. Si se realizan los experimentos y los resultados son incompatibles con la teoría, la teoría es desaprobada. Si los resultados son concordantes con las predicciones teóricas, nunca podemos considerar tales resultados como una prueba de la teoría, ya que esta siempre debe ser susceptible de ser desaprobada por nuevos experimentos. Es decir, todo el conocimiento científico debe verse como provisional pues en la ciencia puede suceder lo totalmente inesperado.

Las teorías hacen enunciados generales mientras que los experimentos y observaciones tratan inevitablemente con lo particular. Esta es la razón por la cual una teoría nunca se puede deducir del conocimiento empírico. Se requiere imaginación para formular una teoría. Igualmente se requiere imaginación para

el diseño de un nuevo experimento que someta a prueba una teoría. Es decir, la imaginación es esencial en la ciencia.

En la ciencia, las nuevas ideas deben sortear múltiples dificultades, tal como se infiere de los siguientes comentarios de Hermann Helmholtz, Max Planck y Sigmund Freud, en su orden (citadas por [6]):

“En el descubrimiento de una nueva verdad científica es mucho más difícil lograr que otros la entiendan que encontrar la verdad en primer lugar.”

“Una nueva verdad científica no es aceptada por el convencimiento de sus oponentes y por lograr que vean la luz, sino porque eventualmente mueren.”

“Cada nueva idea en la ciencia debe pasar a través de tres fases. En la fase 1, todos dicen que el hombre ha perdido la razón y que la idea es totalmente errónea. En la fase 2, ellos dicen que la idea es correcta pero que no tiene importancia. En la fase 3, ellos afirman que la idea es correcta e importante, pero que ya todos la conocían”.

1.2. Suposiciones subyacentes a la ciencia

En la Grecia antigua la ciencia y la filosofía estaban unificadas bajo el concepto de “investigación filosófica”, lo que permitía el uso de diversos métodos para la adquisición de conocimiento. Hoy en día existe una clara distinción entre ciencia, filosofía y religión, aunque comparten procesos racionales mediante los cuales se busca descubrir y entender la “verdad”.

Aunque no hay unanimidad, la ciencia asume suposiciones filosóficas que conviene hacer explícitas, por ejemplo [7]:

1. El universo es ordenado y es posible detectar y explicar ese orden. La creencia en un universo ordenado proviene de la Grecia antigua: Platón y Aristóteles postularon la existencia de un “agente inteligente” que era el arquitecto de la naturaleza y el responsable de ese orden; Dios, como gran arquitecto, usó esquemas geométricos para construir el universo [8].

Por medio de argumentos filosóficos los griegos concluyeron que la órbita de un cuerpo celeste debía describir una figura geométrica “perfecta”, es decir, un *círculo*. Esta creencia era consistente con el movimiento de las estrellas pero no con el de los planetas. Este hecho llevó a Claudius Ptolemaeus (Tolomeo, c. 90-168 d.C.) a proponer que el movimiento de un planeta debía ser el de un círculo rotando alrededor de otro círculo, que a su vez giraba alrededor de otro círculo y así sucesivamente; surgieron los ciclos y los epicíclo, idea que permaneció vigente durante unos 1300 años (ver sección 3.4).

2. El universo está gobernado por leyes accesibles a la razón humana. Esta idea, que es fundamental para el surgimiento de la ciencia moderna, comenzó a perfilarse en los siglos XII y XIII [8]: surge el interés por la naturaleza, se pone atención a los detalles y a las observaciones cuidadosas que darán origen al

método experimental. Por su lado, en el arte, el Renacimiento del siglo XII da lugar al estilo gótico, del cual la Catedral de Nuestra señora de Chartres (Francia), construida entre 1193 y 1250, es un ejemplo; posiblemente ella ilustra la concepción del orden cósmico que predominaba en esa época.¹

Se supone que Dios creó las leyes de la naturaleza que rigen el universo y que este, al igual que las cosas que lo conforman, tenía un comportamiento ordenado y regular; es decir, Dios renunció a incorporar el capricho y el azar en la naturaleza.

3. El ser humano tiene la capacidad de conocer el mundo apoyándose en la capacidad intelectual y en la percepción de los sentidos debidamente amplificados mediante la tecnología. Las ciencias empíricas, como la biología, creen en una realidad que puede ser observada y analizada por los seres humanos.
4. Existen relaciones de causa y efecto que gobiernan los procesos naturales. Aunque autores como Eddington opinan que en la ciencia no aparece el concepto de “causa”, existen conceptos fundamentales, bien definidos, que juegan este papel: es el caso de la fuerza gravitacional, la temperatura, la energía.

¹ http://en.wikipedia.org/wiki/Chartres_Cathedral

5. El universo tiene características que solo se pueden conocer a través del experimento y la observación; es decir, las teorías se deben someter a prueba por medio de la experimentación.

En este contexto, el universo y Dios son entidades separadas y corresponde a la ciencia estudiar el universo, renunciando a creencias religiosas tradicionales, por ejemplo: la creación del universo, el papel privilegiado de los humanos en la creación y la capacidad de Dios para actuar sobre el mundo.

6. Principio de Ockham (William de Ockham, c. 1287-1347) o principio de parsimonia [10]: “si usted tiene dos teorías que compiten y que hacen exactamente las mismas predicciones, la más sencilla es la mejor” o, como lo formuló Bertrand Rusell, “si uno puede explicar un fenómeno sin asumir esta o aquella entidad hipotética, no hay bases para asumirla, esto es, uno debería siempre optar por una explicación en términos del menor número de causas, factores o variables.” Es decir, la simplicidad en la descripción de la ciencia es una virtud teórica o, como dijo Einstein: el gran propósito de la ciencia es . . . cubrir el mayor número posible de hechos empíricos por deducciones lógicas del número más pequeño posible de hipótesis o axiomas.
7. Las leyes de la física, tal como las entendemos, no son otra cosa que una descripción de la realidad, aparte de aspectos

no fundamentales como la notación matemática. Atribuido a Steven Weinberg, Premio Nobel en Física de 1979 [12].

En concordancia con lo anterior, adóptese entonces como punto de partida que la ciencia es una empresa de la humanidad que está condicionada por la cultura de la época en que se desarrolla; que es modelada por nuestros sentidos, modos de percepción y características mentales; que busca entender la naturaleza de manera racional y objetiva, centrándose en los fenómenos reproducibles y en los aspectos predecibles de la naturaleza, para lo cual se formulan leyes y se enuncian teorías [11]. Es decir, en el mundo físico ocurre una diversidad de fenómenos de carácter aleatorio o azaroso y otros de comportamiento regular; las regularidades que descubre la física en esos fenómenos se expresan en forma de leyes de la naturaleza.

1.3. La ciencia es una construcción social

La figura 1.2 ilustra el proceso “idealizado” por medio del cual se construye conocimiento sobre el mundo natural, a partir de la curiosidad científica [13]:

- La *exploración y descubrimiento* incluye formularse preguntas, hacer observaciones, compartir datos e ideas, explorar la literatura, encontrar momentos de inspiración y creatividad.
- El *someter a prueba las ideas* incluye acopiar datos, analizar e interpretar la información.
- El *análisis de la comunidad científica y la retroalimentación* incluye la evaluación por pares académicos y la retroalimentación, la discusión con colegas, la réplica, la publicación, el surgimiento de nuevas preguntas e ideas, la formulación de teorías.
- Los *resultados y beneficios* contribuye a incrementar la cultura, desarrollar tecnologías, construir conocimiento, satisfacer la curiosidad, solucionar problemas de la vida diaria, definir políticas.

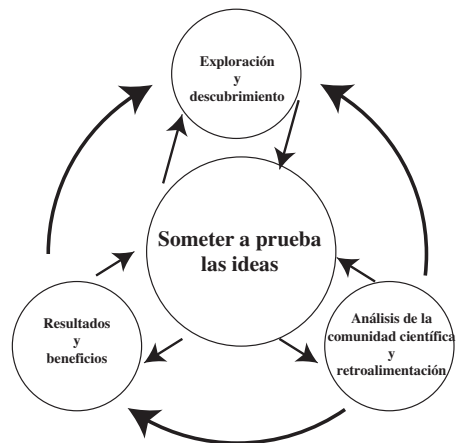


Figura 1.2 Esquema de J. Palmer para mostrar la construcción del proceso científico [13].

Tal como lo sugiere la figura 1.3, los avances en la ciencia dependen del entorno cultural en que los científicos desarrollan su actividad (sociedad), de los problemas que haya planteado la ciencia preexistente, y la tecnología disponible para la investigación científica.

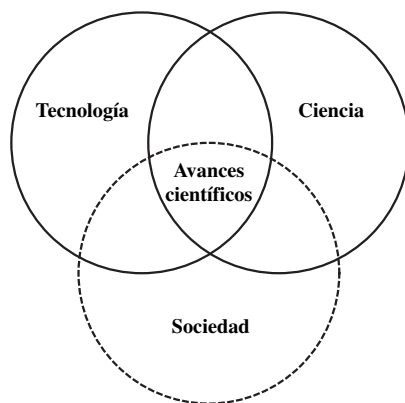


Figura 1.3 Elementos que influyen en los avances de la ciencia.

En este punto es de anotar que, en gran parte, el desarrollo de la ciencia se ha dado en un proceso de refinamiento sucesivo que se podría resumir en los siguientes términos:

El *ciclo de una ciencia* experimental (laboratorio) consiste en: experimento-interpretación teórica-nuevo experimento. En este ciclo se incorpora, hoy en día, la simulación computacional que facilita el estudio de sistemas reales bajo condiciones idealizadas que se exploran en un computador.

En la ciencia, el experimento impone restricciones estrictas a las reflexiones teóricas. Es decir, si una idea, por brillante que sea, no encuentra respaldo en el experimento, entonces se descarta o se declara como falsa.

Por su lado, la matemática juega un papel central en la física en la medida que garantiza la consistencia lógica y la estética de las formulaciones. Galileo Galilei (1564-1642), por ejemplo, creyó que el mundo se podía entender en términos matemáticos, sin recurrir a las nociones del sentido común o de la experiencia de los sentidos.

Es de anotar que no todas las ciencias son de carácter experimental. Citemos, por ejemplo, las ciencias históricas que incluyen la geología, la arqueología, la cosmología. Los procesos o eventos que investigan estas ciencias tuvieron lugar en el pasado distante con respecto al investigador, pero la explicación teórica trata de justificar o refutar una hipótesis con base en los datos significativos que se hayan recopilado. Estas ciencias han permitido reconstruir la evolución del clima de la Tierra, la evolución del universo y la historia de las migraciones del hombre desde nuestros ancestros africanos.

Jim Gray (Microsoft Research) al referirse a la eScience² anota que la ciencia ha pasado por varios paradigmas, a saber [15]:

- *Ciencia empírica.* Hace miles de años la ciencia era empírica y se centraba en la descripción de fenómenos naturales.
- *Ciencia teórica.* En los últimos cientos de años surge la rama teórica que usa modelos y generalizaciones, como es el caso de las leyes de Kepler, Newton y Maxwell.
- *Ciencia computacional.* En las últimas décadas, cuando los modelos se complican y no permiten la solución analítica, aparece la rama computacional mediante la simulación y el estudio de sistemas y fenómenos complejos.
- *eScience.* Hoy en día, cuando los modelos generan cantidades gigantescas de datos, surge la e-ciencia que unifica la teoría, el experimento y la simulación computacional. Los datos que generan los instrumentos o los simuladores son procesados por software, la información y el conocimiento se almacena en grandes bases de datos, que los científicos analizan empleando herramientas de administración y manejo estadístico.

En este punto es pertinente recordar algunas reflexiones de Albert Einstein [2] sobre la construcción de la ciencia. Para él, los dos constituyentes inseparables del conocimiento humano son el pensamiento lógico y los datos de la experiencia. En su opinión, los griegos crearon el milagro intelectual de un sistema lógico, cuyas afirmaciones se deducen unas de otras con rigor lógico; es el caso de la geometría euclidiana. Pero el pensamiento lógico puro no proporciona conocimiento sobre el mundo de la experiencia, ya que todo conocimiento de la realidad comienza con la experiencia

² Se denomina eScience a la ciencia que hace uso intensivo de recursos computacionales y de tecnologías de la información. Incluye el estudio de sistemas como cambio climático, tsunamis, terremotos, física de partículas y bioinformática, entre otros.

y termina en ella. Anota que Galileo se convirtió en el padre de la física moderna y de la totalidad de las ciencias naturales modernas por haber reconocido que los procesos puramente racionales son completamente vacíos en lo que a la realidad se refiere. Responde la pregunta sobre el papel del razonamiento lógico en la ciencia de la siguiente forma:

Un sistema completo de la física teórica está formado por conceptos y leyes básicas que interrelacionan esos conceptos, y de consecuencias que se obtienen por deducción lógica. Las consecuencias deben corresponder a nuestras experiencias y la derivación lógica de ellas es un trabajo puramente teórico. Esto es análogo a la geometría euclidiana, excepto que en esta las leyes básicas se denominan axiomas; y, además en este campo no hay que preocuparse porque las consecuencias correspondan a cualquier experiencia.

Newton, el primer creador de un sistema comprensible y aplicable de física teórica, creyó que los conceptos básicos y las leyes de ese sistema se podrían deducir de la experiencia. Hoy en día, como lo mostró la teoría de la relatividad, las bases axiomáticas de la física no se pueden inferir de la experiencia, sino que son libre invención de la mente humana.

1.4. Orígenes griegos de la ciencia

Según la “historia del mundo”, la mitología griega se divide en tres o cuatro períodos [16]:

1. Los mitos del origen o de la edad de los dioses, que incluyen relatos del origen del mundo y de la raza humana. Por ejemplo, en la Teogonía de Hesiodo (siglos 7 y 8 a.C.) el estado inicial del universo era el *caos* del cual surgió todo lo que existe: primero apareció Gaia (la Tierra) y luego Eros (el amor).
2. La época cuando dioses y mortales se mezclaron libremente, que incluye historias de la interacción entre los dioses, los semidioses y los mortales.
3. La época de los héroes, donde la actividad divina fue más limitada, la que incluye la Guerra de Troya, como ejemplo.

Siglos antes de la invasión persa a Grecia, Mileto se consolidó como una ciudad destacada en el mundo griego, con profunda influencia política y comercial: en esta ciudad surge la filosofía en la primera parte del siglo VI antes de Cristo (a.C.). En el marco de una sociedad altamente religiosa orientada por los mitos, pero en el contexto de una gran actividad crítica, surge la filosofía como una forma de pensamiento que se distancia del mito. El punto de partida está asociado con Tales de Mileto (640-546 a.C.), un hombre de Estado, ingeniero práctico, matemático, filósofo, quien fue capaz de *predecir* el eclipse de Sol que tuvo lugar el 28 de mayo del año 585 a.C.

La batalla en el río de Halys (ahora Turquía) entre tropas medas y lidias, que luchaban por el control de Asia Menor, termina abruptamente cuando “el día se volvió noche” (informe de Heródoto). En la interpretación mítica de la época, los astros son dioses cuyas trayectorias corresponden al orden asignado; inviolable y definitivo: el eclipse es, ante todo, una señal divina para los hombres, y estos deberán interpretar su palabra, posiblemente en el sentido de que los dioses no aprueban la guerra. Tales analiza el fenómeno desde otra perspectiva (interpretación filosófica): el eclipse no es fruto de la voluntad divina sino el resultado de relaciones físicas causales que se deben a las fuerzas físicas que gobiernan el universo [17]. Gracias a este cambio de perspectiva, las matemáticas que permitían complejos cálculos astronómicos para develar la voluntad de los dioses, se transforman de un instrumento para la adivinación en una herramienta para la ciencia.

Tales era un estudioso de la matemática y un observador de la naturaleza, que se formulaba preguntas y especulaba sobre el origen de las cosas. Él se preguntó algo que nunca había sido enunciado antes: ¿bajo qué forma podemos suponer una identidad de las cosas que conocemos y cuál es el comienzo de la realidad subyacente? Tales sostenía que el *agua* era el principio unificador de todas las cosas: el agua promovía la vida a través de la humedad, el calor en sí mismo estaba condicionado por la humedad, el agua tomaría varias formas pues se convertía en vapor o en hielo [18].

Tales habló del alma del universo y su divino poder, el universo estaba lleno de dioses y todas las cosas tenían *alma*. Por ejemplo, para Tales: los imanes tenían alma que les daba el poder de generar movimiento pues cualquier cosa que tuviera el poder de generar movimiento debía tener alma.

En Mileto vivió también Anaximander (610-546 a.C.), un personaje cuyas habilidades matemáticas y científicas, le permitieron expresar su idea sobre el principio de todas las cosas en una forma que requería mayor poder de abstracción: el principio de todas las cosas no está en el agua o en cualquier otra cosa, está en el *infinito*, una sustancia ilimitada, indestructible, sin diferenciación interna de partes, al que era difícil asignarle un nombre (*apeiron*), del cual se originaron las cosas tanto del cielo como del mundo [18].

Por su parte, Anaxímenes (c. 585-528 a.C.), discípulo de Anaximander y nativo de Mileto, eligió el *aire* como el elemento que mejor representaba o simbolizaba el principio que subyacía en la naturaleza [18]. Heráclito (560-500 a.C.), un filósofo destacado nativo de Éfeso, adoptó como principio fundamental que “todas las cosas son pasajeras” (transcurren en el tiempo), por ejemplo, un río existe como río solo en virtud de su cambio continuo. Para él, la creación era un proceso eternamente en acción, donde el *fuego* era el elemento (símbolo) que subyacía en la realidad de la exis-

tencia, ya que tenía el poder de penetrar y devorar todas las cosas [18].

1.5. Constitución de la materia y atomismo griego

Anaxágoras nació alrededor del año 500 a.C., tuvo gran interés por la matemática y la astronomía. Con respecto a la constitución del universo llamó la atención de que “las palabras origen y destrucción eran, por lo general, mal interpretadas por los griegos”, que nada era originado o destruido y que los únicos procesos que realmente tenían lugar eran los de separación o combinación de elementos existentes. Estos elementos debíamos concebirlos en un estado inicial de caos, infinito en número e infinitamente pequeños, extendidos infinitamente. Antes de que comenzara la separación no había color o apariencia de cosa alguna; clima, humedad o sequedad; calor o frío, iluminación u oscuridad; solo existía un número infinito de semillas de las cosas, habiéndose cancelado entre sí todas las formas, colores y sabores [18].

Empédocles (490-430 a.C.) es el padre de la teoría cosmogénica según la cual el principio de todas las cosas está en cuatro elementos: Zeus el resplandeciente (esto es, el *fuego*), Hera (el *aire*),

el generador de vida Aidoneus (la *tierra*) y Nestis (el *agua*) [18]. Empédocles creyó en la transmigración del alma y en que las almas se podían reencarnar entre humanos, animales e inclusive en las plantas. Recomendó un estilo de vida vegetariano, ya que los cuerpos de los animales eran los lugares donde residían las almas castigadas [19].

En el siglo V a.C., Leucippus y su estudiante Demócrito propusieron que los dos constituyentes fundamentales y opuestos del mundo natural eran los átomos (cuerpos indivisibles) y el vacío (ausencia de un objeto); los átomos se movían a través del vacío y se combinaban para formar diferentes agrupamientos atómicos (clusters) [20].

Epicurus (341- 270 a.C.) promovió el atomismo según el cual toda la materia y los cambios se reducían a los movimientos azarosos de átomos eternos que se caracterizaban por unas propiedades mínimas (forma y tamaño) y estaban ubicados en un vacío infinito. Epicurus creyó en los sentidos como el instrumento confiable para estudiar la naturaleza; las propiedades como color y testura se explicaban por las combinaciones atómicas; el concepto de fuerza o las ideas de atracción o repulsión entre átomos era desconocido en ese entonces. La percepción de objetos en la distancia se explicaba por la emisión continua de láminas infinitesimalmente delgadas de

los objetos, las que mantenían las características relevantes de la fuente, y estimulaban el órgano relevante en el observador [20].

Aún en los tiempos de James Clerk Maxwell (1831-1879) no existía evidencia sobre la existencia de átomos o moléculas, como se infiere de la conferencia que él dictó ante la Asociación Británica en Bradford [22]:

Un átomo es un cuerpo que no se puede partir en dos. Una molécula es la porción más pequeña posible de una sustancia particular. Nadie ha visto o manipulado una molécula . . .

La pregunta sobre la existencia o no existencia de los átomos no se puede presentar con mayor claridad que comparando las teorías alternativas de dos grandes filósofos: Anaxágoras (profesor de Sócrates) y Demócrito.

Tómese una porción de materia, por ejemplo una gota de agua, y obsérvense sus propiedades a través de un proceso de división repetitivo. Ante la pregunta, si ese proceso de subdivisión se puede continuar indefinidamente, los dos filósofos tienen respuestas diferentes:

- Según Demócrito y la escuela atomísta de Epicurus y Lucretius, la subdivisión no puede ser indefinida, pues después de un cierto número de etapas debemos llegar al átomo el cual, como su nombre lo indica, no se puede partir en dos.
- Para Anaxágoras la gota es divisible y cada parte tiene las mismas propiedades que la gota original pues el tamaño de un

cuerpo no tiene que ver con sus propiedades; es decir, el proceso de división de la gota se puede continuar indefinidamente.

Hoy en día sabemos que la gota de agua está compuesta de moléculas de agua (H_2O), formadas por dos átomos de hidrógeno y uno de oxígeno.

Es de anotar que el atomismo hizo importantes contribuciones a la ciencia en el siglo XIX, con el surgimiento de la mecánica cuántica, la teoría atómica y la teoría cinética de los gases. El camino no fue fácil pues aún a finales de este siglo importantes científicos y filósofos rechazaban el atomismo, como es el caso de Wilhelm Ostwald, Pierre Duhem y Ernst Mach.

En la ciencia moderna los átomos son sistemas formados por un núcleo (protones y neutrones) y uno o más electrones que forman una nube electrónica alrededor del núcleo; la estructura de los átomos se describe por la mecánica cuántica. El triunfo del atomismo se debe a que la aproximación a la estructura atómica se hizo con base en una aproximación empírica y no con base en argumentos filosóficos *a priori* [21].

1.6. El paradigma escolástico

Steven Weinberg, Premio Nobel de Física en 1979, al referirse a los filósofos expresa (cita en [23]):

Muchos de los temas de la física (espacio, tiempo, causalidad) han sido preocupación de los filósofos desde los tiempos más remotos. Pero, desde mi punto de vista, cuando los físicos hacen descubrimientos en estas áreas, ellos no se preocupan por confirmar o refutar las especulaciones de los filósofos, lo que muestra que los filósofos estuvieron fuera de su jurisdicción al especular sobre estos fenómenos.

Esto ocurre en los tiempos contemporáneos ya que durante la Edad Media³ predominó el paradigma escolástico, que fue en esencia una concepción filosófica, de carácter precientífica, que se orientó por las siguientes creencias [24]:

- La naturaleza era un ente vivo, por lo tanto mortal, vulnerable y finito.
- Era posible entender el universo y la naturaleza del tiempo.
- La salvación del alma era el reto más importante.
- Las ciencias naturales se subordinaban a la teología.

³ El inicio de la Edad Media se sitúa en el año 476 con la caída del Imperio Romano y su fin en 1492 con el descubrimiento de América, o en 1453 con la caída del Imperio Bizantino, año que coincide con la invención de la imprenta (Biblia de Gutenberg). Ver: http://es.wikipedia.org/wiki/Edad_Media.

- El objetivo de la ciencia era mostrar la correlación entre el mundo y la verdad espiritual.
- El conocimiento era de naturaleza enciclopédica, clasificado y rotulado.
- La estructura de la sociedad estaba influenciada por el cielo y reflejaba un orden divino. La ciudad medieval cruciforme era funcional pero también un símbolo religioso.

El desarrollo científico era permitido en la medida en que sus resultados apoyaran la religión; el propósito de la ciencia era la interpretación de los antiguos textos religiosos. La naturaleza se veía como un organismo creado por Dios. Las sustancias básicas (originalmente 4, luego 6) eran la tierra, el agua, el aire, el fuego, la quintaesencia (que incluía el éter) y el magnetismo. La explicación del orden del universo se fundamentó en la cosmovisión geocéntrica de Tolomeo, el astrónomo del siglo II a.C. (ver sección 3.4).

