



EDICIONES DE LA UNIVERSIDAD BOLIVARIANA DE VENEZUELA





LA CIENCIA, FUNDAMENTOS Y MÉTODO



EDICIONES DE LA UNIVERSIDAD BOLIVARIANA DE VENEZUELA



LUIS BRITTO GARCÍA

LA CIENCIA,
FUNDAMENTOS Y MÉTODO



EDICIONES DE LA UNIVERSIDAD BOLIVARIANA DE VENEZUELA

Primera edición: Biblioteca Básica Temática,
Consejo Nacional de la Cultura, 2004

© UNIVERSIDAD BOLIVARIANA DE VENEZUELA, 2014



LA CIENCIA, FUNDAMENTOS Y MÉTODO

LUIS BRITTO GARCÍA

EDICIÓN AL CUIDADO DE
Tibisay Rodríguez y César Russian

CORRECCIÓN
Tibisay Rodríguez y César Russian

DISEÑO Y DIAGRAMACIÓN
Ariadny Alvarado y César Russian

DISEÑO DE PORTADA
Taína Rodríguez

Hecho el Depósito de Ley
Depósito Legal l86120121003570
ISBN 978-980-404-028-3

Ediciones de la Universidad Bolivariana de Venezuela
Av. Leonardo Da Vinci con calle Edison, Los Chaguaramos
Edificio Universidad Bolivariana de Venezuela
Telf. (0212) 606.36.16/36.14
imprentauniversitariaUBV@gmail.com
www.ubv.edu.ve
RIF G-20003773-3

Impreso en la República Bolivariana de Venezuela

Esta publicación fue aprobada según Resolución CU-11-18,
del 9 de julio de 2013

Warisata

La editorial de la Universidad Bolivariana de Venezuela quiere homenajear, a través de la Colección Warisata, una experiencia educativa que marcó un hito en la educación de Bolivia a partir de 1931 y ofrece grandes posibilidades de aplicación en el contexto venezolano. El signo de este movimiento es indigenista, su centro: la descolonización productiva y comunitaria. El modelo warisata, que hoy trasladamos a las publicaciones con carácter pedagógico, tiene entre sus metas dar fin a las fronteras étnicas, educando desde un respeto integral a la cosmovisión autóctona, a sus tecnologías, vistas como parte de los planes de estudio en todos los niveles de la educación profundamente humanista. De esta manera, Warisata es una colección pensada específicamente como apoyo para el estudiante ubevista y universitario en general.

EDICIONES DE LA UNIVERSIDAD BOLIVARIANA DE VENEZUELA



ÍNDICE

Capítulo I	
EL CONOCIMIENTO Y LA CIENCIA	11
Capítulo II	
CLASIFICACIONES DE LAS CIENCIAS	13
Capítulo III	
ESBOZO HISTÓRICO	15
El universo del mito, la tradición y la autoridad	15
El universo de la lógica	15
El universo de la fe	17
El universo de la naturaleza	17
El universo mecánico	19
El universo relativista y probabilístico	27
A la búsqueda del universo integrado	31
Capítulo IV	
EL MÉTODO CIENTÍFICO	37
Tradicición, revelación autoridad	37
La investigación y las hipótesis	38
La clasificación, la definición y la división	42
Métodos en la investigación experimental	47
La inducción	50
La cuantificación	52

La formulación de leyes, teorías, modelos	54
Índole autocorrectiva del método científico	56
Críticas al método	58
Capítulo V	
CIENCIA, ÉTICA Y RESPONSABILIDAD DEL INVESTIGADOR	61
FUENTES CONSULTADAS	67

CAPÍTULO I

EL CONOCIMIENTO Y LA CIENCIA

CIENCIA VIENE DEL latín *scire*, conocer, pero no todo conocimiento es ciencia.

En el sentido moderno, ciencia es un conjunto o cuerpo de conocimientos que se refieren a un mismo objeto, sistemáticamente estructurados y relacionados entre sí, de los cuales se extraen principios o leyes generales y conceptuales mediante un método manejado con objetividad.

Cada uno de estos elementos amerita un comentario.

Ciencia es un *conjunto o cuerpo de conocimientos* porque no se limita a establecer un hecho o dato aislado, sino que aspira a comprender, describir y explicar vastos conglomerados de fenómenos.

Dichos conocimientos han de referirse a un mismo *objeto* o campo específico o grupo de fenómenos que integren una totalidad, pues cada ciencia se define limitando un ámbito que le es propio: la matemática los números, la biología, los seres vivos.

Tales conocimientos deben ser *racionalmente organizados, estructurados y relacionados entre sí*, porque la función de la ciencia no consiste solamente en compilar datos, sino también en establecer conexiones significativas entre los hechos que verifica.

Los conocimientos han de ser de *carácter general o conceptual*, aplicables a un gran conjunto de casos y fenómenos que comparten ciertos rasgos y cualidades comunes, y no referidos a un suceso único o individual.

Dichos conocimientos han de ser obtenidos o validados mediante un *método* conocido y aceptado en la disciplina, sujeto a repetición y verificación por otros investigadores.

En fin, tanto el método elegido para la obtención de conocimientos como el establecimiento de relaciones entre ellos y su clasificación han de ser manejados con *objetividad*, ateniéndose en lo posible de manera imparcial a la racionalidad y desechando los prejuicios, deseos o esperanzas del investigador.

Para completar esta noción citamos el resumen que Séller realiza partiendo de las ideas de Carnap sobre la denominada Concepción Heredada de la Ciencia, la cual se funda en los principios siguientes:

- 1) La ciencia es *realista* (pretende describir el mundo real), existe un criterio definido para diferenciarla de lo que no lo es (*delimitación*), es *acumulativa*, de modo que, aun existiendo errores, los conocimientos avanzan y se edifican unos sobre otros y, además, es *una* (no hay más que una sola ciencia que habla desde diversos aspectos del mundo real);
- 2) En ella hay que distinguir claramente lo que es *observación* y lo que es *teoría*, pero a la vez los términos teóricos deben definirse en términos experimentales o de observación (mediante reglas de correspondencia), siendo ésta, la observación junto con la experimentación, lo que fundamenta y justifica las hipótesis y las teorías;
- 3) Éstas poseen una estructura deductiva (se conciben como sistemas axiomáticos) y se aceptan, rechazan o corrigen de acuerdo con procedimientos de verificación o confirmación, que básicamente consisten en la contrastación de afirmaciones sobre hechos o consecuencias que se deducen de las hipótesis;
- 4) Los términos con que se expresan las teorías (lógicos y matemáticos, teóricos y observacionales) se definen cuidadosamente, de modo que todo término esté definido con precisión, y los términos teóricos sean sólo “abreviaturas” de fenómenos observados, con los que se corresponden según una determinada y cuidadosa “interpretación” (Cortés y Martínez, 1996).

CAPÍTULO II

CLASIFICACIONES DE LAS CIENCIAS

EXISTEN TANTAS clasificaciones de las ciencias como períodos de la Historia, y quizá tantas como investigadores.

En la Antigüedad Clásica, Aristóteles distingue entre filosofía *teórica* y *práctica*, y discrimina entre saberes *teóricos*, *prácticos* y *poéticos* o *productivos*, que serían los relativos a objetos exteriores creados por un agente.

En la Edad Media, el abad Casiodoro sistematiza una división de las artes liberales entre el *trivium* (gramática, retórica y dialéctica) y el *quadri-vium* (aritmética, geometría, astronomía y música). En el mismo período, el árabe Avicena distingue entre las ciencias *especulativas* y las *prácticas*.

A principios de la Época Moderna, Francis Bacon adscribe las distintas ciencias a las facultades humanas de la *memoria*, la *razón* y la *fantasía*.

En el siglo XVII, el filósofo inglés Thomas Hobbes distingue entre un *saber de los hechos*, que se logra por los sentidos y la memoria, y comprende la historia natural y civil, y *el saber de conclusiones*, que se deposita y organiza en la filosofía, la cual abarca para él la filosofía misma, las ciencias y las técnicas.

Jean d'Alembert, uno de los animadores de la Ilustración y de los creadores de la *Enciclopedia*, organiza esa vasta obra según las facultades del hombre. Por tanto, separa los conocimientos humanos entre los fundados en la *memoria*, que constituyen la Historia (sagrada, civil antigua y moderna, y natural, relativa a la uniformidad, desviaciones y usos de la naturaleza); los emanados de la *razón*, que integran la filosofía

y la ciencia (de Dios, de la naturaleza, y del hombre) y los fundados en la *imaginación*, que comprenden la poesía (narrativa, dramática, parabólica, conjuntamente con la música, la pintura, la escultura, la arquitectura civil y el grabado) (D'Alembert y Diderot, 1981: 130).

Bajo la influencia del positivismo es formulada otra clasificación que exponemos por su utilidad didáctica, y que distingue entre ciencias *formales* y *empíricas*.

Las *ciencias formales* tienen como objeto de estudio referentes conceptuales o abstractos (tales como números, figuras geométricas o axiomas), sus enunciados son analíticos, y se llega a ellos esencialmente a través del método deductivo, vale decir, extrayendo consecuencias a partir de enunciados de validez general. Son ciencias formales la lógica y todas las ramas de la matemática.

Las *ciencias empíricas*, también llamadas *fácticas* porque sus referentes son objetos o hechos reales, emplean conceptos cuyos enunciados son sintéticos, establecidos por lo general mediante un método inductivo, vale decir, que verifica hechos particulares para llegar a partir de ellos a principios o leyes generales.

Dichas *ciencias empíricas* se dividen a su vez en *ciencias de la naturaleza*, que estudian fenómenos naturales, tales como la física, la química y la biología, y las *ciencias de la cultura*, que estudian los fenómenos generados por la creatividad humana, tales como la economía, la sociología, la antropología, la sicología y otras.

En las ciencias de la naturaleza se aplica de manera preponderante el método experimental. Por las dificultades que presenta emplearlo en las ciencias de la cultura, éstas usan métodos tales como la estadística y el muestreo.

CAPÍTULO III

ESBOZO HISTÓRICO

EL UNIVERSO DEL MITO, LA TRADICIÓN Y LA AUTORIDAD

LA HISTORIA DE LA ciencia se confunde con la de la humanidad. Apuntamos aquí sólo algunos hitos decisivos. El dominio del fuego, la agricultura y la domesticación de animales marcan el paso del nomadismo al sedentarismo; la invención de la escritura coincide con el poblamiento de ciudades que llamamos civilización.

Complejos conocimientos matemáticos, geométricos y astronómicos posibilitaron la erección de colosales edificaciones y sistemas de riego en Babilonia y Egipto, en los imperios del llamado modo de producción asiático y en las grandes culturas americanas, cuyos sabios desarrollaron precisos calendarios e inventaron el cero. Pero no se conservan documentos que expongan los métodos empleados por estos primeros científicos

EL UNIVERSO DE LA LÓGICA

Thomas S. Kuhn (1981) sostiene que la ciencia avanza gracias a cambios revolucionarios que implantan nuevos paradigmas, es decir, conjuntos de ideas aceptadas por las comunidades científicas. Una de estas transformaciones decisivas ocurre durante el período grecorromano (VI a.C-V d.C.) cuando los pensadores griegos se separan de las explicaciones tradicionales y mitológicas y adoptan la razón y la lógica como fundamentos del conocimiento.

Pitágoras y sus seguidores desarrollan la primera gran sistematización de la matemática, la geometría, la astronomía y la música, plantean el célebre teorema de Pitágoras y descubren los números irracionales. Euclides en sus *Elementos* postula los axiomas y teoremas que todavía fundamentan la geometría convencional. Arquímedes amplía esta herencia hasta convertirse en precursor del cálculo infinitesimal, formula la ley relativa al desplazamiento de los fluidos que lleva su nombre, y defiende la ciudad de Siracusa incendiando una flota invasora con espejos que concentran la luz solar. Diofanto en su *Aritmética* incluye problemas que anticipan el álgebra.

Leucipo y Demócrito sostienen que las cosas se componen de agregaciones de partículas indivisibles a las cuales llaman átomos. Los sabios griegos atribuyen a la Tierra forma esférica por considerar a ésta la más perfecta. Hiparco compila un catálogo de 1.026 estrellas (Arago, 1962: 36) y Aristarco de Samos anticipa la idea de que la Tierra gira alrededor del Sol. Eratóstenes establece mediante observaciones astronómicas una medida del radio de la Tierra de sorprendente aproximación, pero Eudoxio de Cnido, Hiparco y Tolomeo imponen la teoría geocéntrica de que el Sol, los planetas y las estrellas giran alrededor de la Tierra, error que tarda casi dos milenios en disiparse.

Aristóteles intenta abarcar todos los conocimientos de la época, desde la lógica hasta la política, la poética y la biología. Teofrasto estudia la vida de los vegetales. Una vasta colección de escritos sobre temas como anatomía, embriología, patología y terapéutica es atribuida a Hipócrates de Quíos, y junto con los aportes médicos romanos integran un patrimonio de conocimientos que es finalmente reunido por Galeno. Naturalistas como Plinio reúnen enormes compilaciones, no necesariamente sistemáticas, de todos los datos conocidos sobre el mundo.

Hierón de Siracusa construye máquinas de vapor, pero el sistema esclavista hace innecesario el ahorro de mano de obra y no estimula un desarrollo de la técnica equiparable al de la filosofía y las ciencias.

EL UNIVERSO DE LA FE

Con la caída de Roma en el siglo V d.C. comienza un milenio durante el cual la Iglesia católica pretende monopolizar el conocimiento y limita la investigación a tratar de concertar revelación y razón. La astronomía queda inmovilizada en el sistema geocéntrico de Ptolomeo, la medicina paralizada en el de Galeno y entrabada por la prohibición de diseccionar cadáveres, la química se extravía en la búsqueda alquímica de la Piedra Filosofal, que supuestamente transmutaría todo en oro. En el siglo XIII el catalán Raimundo Lulio propone unificar metafísica y lógica organizando en un sistema los principios evidentes y supremos del saber y derivando de ellos los subordinados mediante un cálculo combinatorio.

Mientras tanto, los árabes preservan gran parte de la tradición cultural grecorromana, asimilan los aportes sirios, hindúes y persas y logran decisivos avances propios en la matemática con la invención de los números arábigos, del cero y el álgebra; y en las ciencias empíricas, con la metalurgia, la medicina y el conjunto de conocimientos denominados entonces alquimia y luego química. Durante ese prolongado lapso los chinos inventan la brújula, la imprenta y la pólvora, y los japoneses forjan aceros de inigualable calidad.

EL UNIVERSO DE LA NATURALEZA

A partir del siglo XV d.C. la ciencia renacentista impone otro cambio de paradigma que en gran parte revive los principios de la grecorromana: retorna a la guía de la lógica y la razón, y considera el estudio de la naturaleza como un campo específico, en el que la observación y la medición cuantitativa prevalecen sobre la revelación y la autoridad.

Contra quienes esgrimen sólo tales argumentos, afirma Leonardo da Vinci; “Ignoran ellos que mis obras provienen de la experiencia y no de palabras de otros, y que siempre la experiencia ha sido escuela de los que bien escribieron: por eso yo la tomo también por maestra, y a ello

me atengo” (Vinci, 1958: 38). Y añade que “no hay certeza donde no se puedan aplicar las ciencias matemáticas, o que no esté unida con alguna de ellas” (Vinci, 1952: 60). Siguiendo este método investiga sobre óptica, perspectiva, teoría de los colores, geología, zoología, mecánica y arquitectura; anticipa invenciones como el aeroplano, el helicóptero y el submarino, y estudia anatomía disecando cadáveres, adelantándose a Andrea Vesalio y Ambroise Paré. Al abarcar con el raciocinio y la experiencia infinidad de campos, Leonardo encarna el ideal de totalidad que ha sido denominado renacentista.

Entre los siglos XV y XVI los grandes descubrimientos geográficos requieren el desarrollo de conocimientos astronómicos que a su vez aportan nuevas perspectivas del mundo (Boorstin, 1986). El filósofo inglés Francis Bacon en su *Novum Organum* propone una nueva ciencia, fundamentada en el estudio de la naturaleza, y un método basado en la inducción y la experimentación, con el fin de descubrir las relaciones constantes que rigen los fenómenos (Bacon, 1985). Al mismo tiempo, en su utopía *La nueva Atlántida* anticipa en forma visionaria los portentos de un país regido por la técnica, con máquinas tales como telescopios, microscopios, submarinos y aeroplanos (Bacon, 1971). Desde entonces, según señala Wilhelm Dilthey, “...el programa de Bacon: *saber es poder*; la Humanidad debe avanzar por el conocimiento causal de la naturaleza hacia el dominio sobre ella, es realizado cada vez más por las ciencias naturales” (1990: 117).

Hacia la misma época el francés Viete precisa el simbolismo matemático; Stevin constituye las fracciones decimales y Burgi y Neper inventan los logaritmos. Nicolás Copérnico elabora la tesis de que la Tierra y los planetas giran alrededor del Sol, que tiene decisivas implicaciones en la concepción del hombre sobre su puesto en el universo y marca uno de los cambios de perspectiva en la ciencia que serán llamados “giros copernicanos”. El autor difiere la publicación para después de su muerte, temeroso de las autoridades religiosas que persiguen a Leonardo por disecar cadáveres y queman en la hoguera a Giordano Bruno por proponer una ciencia de la naturaleza fundada en la razón.

Johannes Kepler defiende públicamente las tesis de Copérnico y las fundamenta con leyes regulares, demuestra que los planetas no recorren órbitas circulares sino elípticas, y determina que los cuadrados de los tiempos de revolución planetaria son proporcionales a los cubos de las distancias medias de los planetas al Sol (Reichen, 1963: 45). En defensa de su enfoque aduce que “Dios, cuando creó el mundo, debió de hacer geometría” (Arago, 1962: 97).

En Francia, René Descartes estudia las secciones cónicas, aplica el álgebra a la geometría, propone el sistema de coordenadas que lleva su nombre para localizar posiciones en un plano y postula un sistema de duda metódica que, sin embargo, lo conduce a sostener que el universo está compuesto de sólo tres elementos y que la sangre hierve en el corazón gracias a un fuego sin luz.

EL UNIVERSO MECÁNICO

La máquina celeste

Como juzga Albert Einstein, “...una de las adquisiciones más importantes en la historia del pensamiento humano, la que señala el verdadero punto inicial de la física, se debe a Galileo, al descubrir y usar el método del razonamiento científico” (Einstein, 1952: 14). En efecto, en los albores del siglo XVII, Galileo Galilei determina con experimentos que todos los cuerpos materiales caen con igual velocidad independientemente de su peso, usa el péndulo para medir el tiempo, observa con el telescopio los astros y les niega la condición de incorruptibles al advertir los cráteres de la luna y las manchas solares, y al defender la tesis de que los planetas giran en torno al Sol es hecho prisionero y obligado a abjurar por la Inquisición.

Poco después, Isaac Newton formula sus leyes del movimiento, la primera de las cuales postula que todo cuerpo sigue en estado de reposo o movimiento uniforme en línea recta a menos que sea compelido

por alguna fuerza a cambiar ese estado; la segunda enuncia la equivalencia entre acción y reacción, y la tercera que el efecto sobre un cuerpo de una fuerza es directamente proporcional a la magnitud de ésta y sigue su dirección. Newton además plantea la teoría de que la luz está compuesta de partículas; estudia su refracción y su descomposición en colores y formula la ley de gravitación universal, que permite explicar y predecir sistemáticamente gran parte de los fenómenos de la mecánica celeste y de la terrestre, y posibilita a Halley calcular la órbita y la reaparición del cometa que lleva su nombre. Newton y Leibniz desarrollan paralelamente el cálculo infinitesimal. Se abren las vías para el cálculo de las funciones, el diferencial y el integral (Titchmarsh, 1956).

A finales del siglo XVIII, Pierre Simon Laplace explica matemáticamente las variaciones de velocidad de algunos planetas al recorrer sus órbitas y formula la teoría de que el sistema solar habría surgido de una nube de materia giratoria. Consultado por Napoleón sobre el papel de Dios en su sistema, contesta que “no he tenido necesidad de esa hipótesis”, y desarrolla la idea esencial del mecanicismo determinista de que cualquier estado de un sistema mecánico puede ser predicho con absoluta exactitud si se conocen sus condiciones iniciales (Laplace, 1947). Estudiando las aparentes irregularidades de la órbita de algunos planetas, Herschel deduce en 1781 la existencia del planeta Urano y luego la confirma mediante la observación. Valiéndose sólo del cálculo matemático, Le Verrier descubre Neptuno en 1846 (Reichen, 1963: 60), hallazgo que sería posteriormente confirmado por la observación.

Priestley aísla el anhídrido carbónico y Cavendish descubre que el agua no es un elemento, sino un compuesto de hidrógeno y oxígeno (al que llama “aire deflogistificado”), y calcula el peso de la Tierra. Lavoisier desacredita la antigua teoría del flogisto al producir oxígeno y luego demostrar experimentalmente que el aire contiene nitrógeno y oxígeno, que éste se combina con las sustancias combustibles, que el agua contiene oxígeno e hidrógeno, y que tales cambios están regidos por leyes, con lo cual prueba que la química es una ciencia exacta susceptible de cuantificación matemática (Leonard, 1943: 236-275). Queda así abierto el camino que lleva a Mendelejev a sistematizar los elementos

en su tabla periódica, y a Kekulé a desarrollar la química orgánica en los umbrales del siglo XX.

Sobre esta nueva perspectiva del mundo afirma *sir* Bertrand Russell que

...hubo tres ingredientes en la mentalidad científica del siglo XVIII que han sido especialmente importantes: 1° La afirmación de hechos había de estar basada en la observación, y no en la autoridad carente de fundamento. 2° El mundo inanimado es un sistema con actuación propia y con un sistema propio de perpetuación; sistema en el que todos los cambios se producen de acuerdo con las leyes naturales. 3° La Tierra no es el centro del Universo, y, probablemente, el hombre no es su propósito (si es que tiene alguno); por añadidura, “propósito” es un concepto científicamente inútil. Estos elementos constituyen lo que se llama “concepto mecanicista” denunciado por los sacerdotes. Dicho concepto condujo a la cesación de las persecuciones y a una actitud humana en general (1962b: 387).

A estos ingredientes añade Russell el abandono por los científicos de la búsqueda de “causas finales”. En tal sentido afirma que

La ambigüedad de la fórmula “por qué” condujo a Aristóteles a establecer su distinción entre causas eficientes y finales. Y pensaba –como muchas personas piensan todavía– que podría encontrar de las dos clases por todas partes; cualquier cosa que exista puede ser explicada, de una parte, por los acontecimientos anteriores que la han producido, y, de otra parte, por el propósito a que sirve. Pero aunque todavía queda abierto al filósofo o al teólogo mantener que todo tiene un propósito, se ha descubierto que propósito no es un concepto útil cuando andamos a la busca de leyes científicas (...) Las causas *finales*, por tanto, no aparecen en la explicación científica del mundo (1962b: 392).

Russell concluye además que la concepción mecanicista tiene un papel determinante sobre

...4° el puesto del hombre en el Universo. El efecto de la ciencia sobre nuestro concepto acerca del puesto del hombre en el Universo ha sido de dos clases distintas: a un tiempo ha degradado y ha exaltado al hombre. Lo ha degradado desde el punto de vista de la contemplación, y lo ha exaltado desde el de la acción (...) En el mundo precientífico, el poder era de Dios. No era mucho lo que el hombre podía hacer, aun en las más favorables circunstancias, y las circunstancias eran muy propensas a volverse desagradables si el hombre incurría en el desagrado divino. En el mundo científico todo es diferente. No es por medio de la oración y la humildad como se consigue que las cosas vayan a la medida de los propios deseos, sino adquiriendo cierto conocimiento de las leyes naturales.

(...)

El poder de la oración, por añadidura, tenía límites reconocidos; hubiese resultado impío pedir demasiado. El poder de la ciencia no tiene límites conocidos. Se nos decía que la fe podía mover las montañas, pero ninguno lo creía; ahora se nos dice que la bomba atómica puede mover las montañas, y todo el mundo lo cree (1962b: 396).

Albert Einstein sintetiza la concepción mecanicista en la convicción de que

...de acuerdo con la mecánica, es posible predecir la trayectoria futura de un cuerpo en movimiento y revelar su pasado, si se conoce su estado presente y las fuerzas que obran sobre él. Así, por ejemplo, se pueden prever las trayectorias futuras de todos los planetas. Las fuerzas actuantes son las de gravitación, de Newton, que sólo dependen de la distancia. Los admirables resultados de la mecánica clásica sugieren la conjetura de que la concepción mecánica puede aplicarse de modo coherente a todas las ramas de la física, que todos los fenómenos pueden explicarse por la acción de fuerzas de atracción o repulsión, la cual depende únicamente de la distancia y obra entre partículas invariables (Einstein, 1952: 59).

La concepción mecanicista continúa dominando la ciencia hasta finales del siglo XIX; a comienzos de éste hay un esfuerzo por establecer la naturaleza y propiedades de los “fluidos” luminoso, calórico y eléctrico. Los estudios sobre la luz conducen a la teoría ondulatoria como una alternativa para la hipótesis corpuscular de Newton y animan el desarrollo de la espectroscopia. Las investigaciones sobre el calor llevan a la formulación de las leyes de la termodinámica. Faraday y Maxwell colaboran para desarrollar la teoría electromagnética que unifica los fenómenos luminosos y electromagnéticos y abre paso al descubrimiento de las ondas hertzianas.

La máquina viviente

La observación sistemática y el método experimental revolucionan también la biología. Leeuwenhoek y Harvey aplican el microscopio al estudio de los seres vivos, y este último demuestra la circulación de la sangre. Linneo y Buffon compilan grandes compendios sistemáticos sobre los reinos de la naturaleza; el último sugiere que tanto la estructura de la Tierra como las especies varían con el tiempo. Lamarck postula que los seres vivos evolucionan gracias a mecanismos innatos en virtud de los cuales “la función crea el órgano”. Mendel explora las leyes de la transmisión hereditaria de ciertos rasgos y sienta con ello las bases de la genética.

Basándose en minuciosas observaciones e inspirado por la obra del economista Robert Malthus, Charles Darwin afirma que la diversidad de las especies es producida por un conjunto de leyes, las cuales

...tomadas en un sentido más amplio, son: la de *crecimiento con reproducción*; la de *herencia*, que casi está implícita en la reproducción; la de *variación* por la acción directa e indirecta de las condiciones de vida y por el uso y desuso; una *razón del aumento*, tan elevada, tan grande, que conduce a una *lucha por la vida*, y como consecuencia, a la *selección natural*, que determina la *divergencia de caracteres* y la *extinción* de las formas

menos perfeccionadas. Así, la cosa más elevada que somos capaces de concebir, o sea, la producción de los animales superiores, resulta directamente de la guerra de la naturaleza, del hambre y de la muerte (Darwin, 1967: 669).

Sobre ello afirma Bertrand Russell:

En este aspecto, la obra de Darwin fue decisiva. Lo que Galileo y Newton habían hecho en astronomía, lo hizo Darwin en biología. La adaptación al medio de los animales y las plantas era el tema favorito de los naturalistas piadosos del siglo XVIII y de comienzos del XIX. Tal adaptación se explicaba por el Propósito Divino (...) No fue el hecho de la evolución, sino el darwiniano mecanismo de la lucha por la existencia y la supervivencia de los más adaptados lo que hizo posible explicar la adaptación sin recurrir al *propósito*. La variación casual y la selección *natural* utilizan solamente causas eficientes (1962b: 393).

El químico Luis Pasteur revoluciona la medicina al descubrir que agentes patógenos microscópicos causan gran parte de las enfermedades y, siguiendo el camino de Jenner, descubridor de la vacuna contra la viruela, inocular agentes atenuados para provocar inmunidad contra enfermedades infecciosas como la hidrofobia. Poco después se desarrollan la antisepsia, la embriología, la citología, la inmunología, la bioquímica (Hayward, 1956). Claude Bernard sistematiza la aplicación del método experimental en la medicina, preconizando el empleo de “grupos de control”, vale decir, de conjuntos de pacientes a algunos de los cuales se aplica un tratamiento y a otro no, para juzgar adecuadamente los efectos de la terapia. Se abren las vías que cursan investigadores tales como Semmelweis, quien descubre que la falta de asepsia en los hospitales induce la fiebre puerperal en las parturientas; Pascual Finlay, quien descubre que el mosquito es el transmisor de la malaria y el paludismo; Alexander Fleming, quien desarrolla la penicilina a partir del hongo bactericida *penicillium*; Koch, quien descubre el bacilo que causa la tuberculosis (Kruif, 1959), y Jonás Salk, quien desarrolla la vacuna contra la parálisis infantil. Se imponen la asepsia y la anestesia como métodos quirúrgicos indispensables.

También a finales del siglo XIX, el médico Ramón y Cajal efectúa detalladas investigaciones sobre la estructura de las células del sistema nervioso, y Pavlov revela mediante rigurosas observaciones el mecanismo de los reflejos condicionados (Pavlov, 1966), que sicólogos como Skinner toman de base para la escuela conductista (Skinner, 1972). Sigmund Freud intenta descubrir relaciones de causa y efecto, incluso en fenómenos aparentemente irracionales o fortuitos, tales como los actos fallidos, los síntomas neuróticos, los sueños.

En el siglo XX se desarrolla la endocrinología, que estudia el efecto biológico de las secreciones de las glándulas, y se descubren los efectos de las vitaminas, compuestos cuya falta o exceso pueden producir enfermedades como el beriberi y el raquitismo. Hacia la segunda mitad de la centuria Francis Crick y James D. Watson decodifican la estructura espiral del ácido desoxirribonucleico y a través de ella abren camino para la explicación y manipulación de la herencia genética (Watson, 1969).

La máquina social

A medida que la imagen mecanicista del mundo domina las ciencias, los filósofos extienden sus conclusiones a otros campos de la cultura. En el siglo XVII el inglés Thomas Hobbes se atreve a decir que el hombre es un autómatas, que la mente misma no es más que una máquina de sumar y restar conclusiones, que no hay bien ni mal absolutos, sino en el juicio del observador, y que el Estado es un organismo artificial creado por el hombre para lograr acuerdos sobre las normas para la convivencia. Así como el poder de las leyes naturales es absoluto, también ha de serlo el del soberano (Hobbes, 1968).

En el siglo inmediato filósofos como Montesquieu, Voltaire, Diderot, Helvetius y Holbach propulsan el movimiento de la Ilustración, el cual propone que todos los aspectos de la vida humana, desde la estética a la política, han de ser dominados por la razón y la ciencia. Montesquieu afirma que la ley positiva es “la razón humana en cuanto rige los diversos pueblos de la tierra” (Montesquieu, 1964). Algunos conceden que este dominio ha de ser impuesto al pueblo por déspotas

ilustrados, como Federico II de Prusia, Cristina de Suecia o la zarina Catalina la Grande.

En el siglo XVIII economistas como Thomas Robert Malthus, David Ricardo y Adam Smith intentan demostrar que el mundo de la economía está regido por leyes exactas. Malthus afirma que la población tiende a crecer en mayor proporción que los recursos (Malthus, 1966); Ricardo, que toda renta es creada por el trabajo humano y se acumula en forma inversamente proporcional al esfuerzo en producirla (el dueño de la tierra o del capital se apropian del trabajo del asalariado) (Ricardo, 1971: 97-108). Adam Smith asegura que el libre juego de la oferta y la demanda en un mercado de competencia perfecta que asegura el mejor resultado, aunque reconoce que tal tipo de mercado no se produce en la práctica (Smith, 1957).

En el siglo XIX Augusto Comte adelanta el mismo proyecto racionalizante con el positivismo, afirmando "...que el carácter fundamental de la filosofía positiva consiste en considerar todos los fenómenos como sujetos a *leyes* naturales invariables, cuyo descubrimiento preciso y la posterior reducción al menor número posible constituyen la finalidad de nuestros esfuerzos" (Comte, 1980: 31). El positivismo propone estudiar con tales métodos las comunidades humanas a través de una nueva ciencia, la sociología. Al jerarquizar las sociedades humanas en las etapas de salvajismo, civilización y barbarie, es invocado para legitimar la preponderancia, el imperialismo y el racismo de los países desarrollados contra la "barbarie" subdesarrollada.

Carlos Marx y Federico Engels fundan el socialismo científico amalgamando la visión mecanicista de las ciencias naturales y la visión dialéctica del filósofo Hegel. Según la concepción dinámica que postula la dialéctica materialista, tanto en el universo físico como en el social la acumulación de cambios cuantitativos termina produciendo cambios cualitativos; en todo fenómeno coexisten la unidad y la oposición de fuerzas contrarias, y los procesos naturales se transforman pasando de cada etapa hacia otra que constituye la negación de la anterior, y así sucesivamente (Engels, 1958; 1960). Plantean así un enfoque de

totalidad que enfatiza la compleja interdependencia entre los fenómenos del universo, y sujeta los hechos sociales a leyes de tendencia de acuerdo con las cuales el modo en que los hombres se relacionan y organizan para producir y reproducir su existencia material tiende a configurar las superestructuras culturales del derecho, la religión, la filosofía, el arte y la ciencia. Marx sostiene que todo valor es tiempo de trabajo humano; que el empresario obtiene su ganancia o plusvalía al no pagar al asalariado la totalidad del valor que crea, y que el sistema capitalista es inviable ya que la pobreza tiende a incrementarse, el capital a concentrarse en un número cada vez menor de manos y el sistema a padecer crisis de sobreproducción periódicas y progresivamente más graves (Marx, 1949) hasta el momento en que “los expropiados expropiarán a los expropiadores”(Marx y Engels, 1960). Marx defiende una nueva función del investigador afirmando que “los filósofos se han limitado a *interpretar* el mundo de distintos modos; de lo que se trata es de *transformarlo*” (Marx y Engels, 1959).

EL UNIVERSO RELATIVISTA Y PROBABILÍSTICO

La convicción de conocer de manera precisa un universo sujeto a leyes causales infalibles es duramente contestada desde el siglo XVIII por pensadores como David Hume, quien niega la posibilidad de establecer relaciones de causa y efecto (Hume, 1994: 179), o Immanuel Kant, que postula la incognoscibilidad de la *cosa en sí*, es decir, de la naturaleza última de los fenómenos. Darwin no encuentra ningún orden causal en las mutaciones que originan nuevas especies.

Estas críticas adquieren categoría de paradigma científico a comienzos del siglo XX. Hacia esa época Ernst Mach sostiene la imposibilidad de aprehender la realidad última del mundo físico, del cual sólo conoceríamos sensaciones y representaciones (Lenin, 1959: 30). En 1931 Kurt Gödel formula el teorema según el cual “...todas las formulaciones axiomáticas consistentes de la teoría de los números incluyen proposiciones que no pueden ser decididas”

(Hofstadter, 1989: 17). Stephen Hawking lo explica indicando que “ciertos problemas no pueden ser resueltos por ningún conjunto de reglas o procedimientos”, idea que “derrumbó la creencia generalizada de que la matemática era un sistema coherente y completo basado en un único fundamento lógico” (Hawking, 2002: 139). Al mismo tiempo crecen vigorosamente la teoría de conjuntos, la de los juegos, la topología, las matrices y cadenas y otros nuevos marcos indispensables para describir las novedosas realidades del mundo físico (Navarro, 1973).

Así, James Clerk Maxwell desarrolla una teoría matemática del campo electromagnético en la cual establece que las ondas eléctricas y magnéticas viajan transversalmente, y que las luminosas tienen naturaleza electromagnética. Gauss, Lovachetsky y Riemann crean geometrías basadas en axiomas distintos de los de Euclides, que anticipan el concepto del espacio curvo y de múltiples dimensiones. A comienzos del siglo XX Albert Einstein, Minkovski y Milne, niegan que las categorías de tiempo y espacio tengan una validez absoluta, independiente de los objetos y de los sistemas de coordenadas desde los cuales se observa, y formulan el principio de equivalencia de masa y energía (Born, 1960: 65).

Paralelamente con estos desarrollos conceptuales avanza una revolución empírica. El francés A. H. Becquerel estudia el fenómeno de la fluorescencia y descubre una radiación penetrante, la radioactividad, que impresiona placas fotográficas a través de sólidos. Pierre Curie y María Sklodovska de Curie adelantan el estudio de los materiales radioactivos y descubren nuevos elementos, como el radium y el polonium (Curie, 1959). Rutherford interpreta el fenómeno radiactivo como la transmutación espontánea de algunos elementos cercanos al fin de la tabla periódica en otros, y crea un modelo del átomo en el que los electrones giran alrededor de un núcleo. Niels Bohr, al verificar que de acuerdo con la mecánica convencional dicho modelo sería imposible, lanza la revolucionaria aserción de que “...puesto que la naturaleza no puede estar errada, la mecánica convencional debe estar equivocada, por lo menos cuando se aplica al movimiento de los electrones dentro de un átomo” (Gamow, 1960: 388).

El intento de comprender la actuación de las partículas subatómicas inspira nuevas y sorprendentes teorías. Louis de Broglie desarrolla la mecánica ondulatoria sobre la hipótesis de que “el movimiento de los electrones en el átomo es ‘guiado’ por una categoría peculiar de ondas” a las cuales llama “ondas piloto” y concluye que “la longitud de onda de la onda asociada con una partícula en movimiento es igual a la constante del *quantum* de Planck dividida por el impulso de la partícula” (Gamow, 1960: 405). Pues Max Planck sostiene que la energía se emite en unidades uniformes, las cuantía; y formula a partir de esta hipótesis la mecánica cuántica (Born, 1960: 131), mientras que el físico austriaco E. Schrödinger desarrolla la mecánica ondulatoria. Ambas teorías parecen contradecirse, pero cada una explica aspectos de los mismos fenómenos sin que los científicos puedan descartar una u otra. Desde entonces hasta el presente la física no puede describir la trayectoria de una partícula, sino postular la *posibilidad* de encontrarla en uno u otro sitio. Por otra parte, sólo se puede determinar su presencia golpeándola con otra partícula, lo que altera su posición. Por lo que concluye Max Born,

El más completo conocimiento de las leyes de la naturaleza no lleva consigo el poder de predicción ni el dominio de la naturaleza. Si el universo es una máquina, sus palancas y poleas son demasiado delicadas para manipularlas con nuestras manos. Sólo podemos comprender y guiar sus movimientos en gran escala (1960: 175).

El británico P. A. M. Dirac, al tratar de conciliar los principios de la mecánica cuántica con los de la relatividad einsteniana, asume que el espacio que llamamos vacío está en realidad lleno de electrones “extraordinarios” dotados de “masa negativa inercial”, y que lo que llamamos “electrones positivos” son en realidad agujeros en esa continuidad. Por su parte, Werner Heisenberg postula que la existencia de las porciones mínimas de energía nos prohíbe describir el movimiento de partículas atómicas en forma convencional dando sus posiciones y velocidades sucesivas, y que sólo podemos expresar mediante una relación de incertidumbre que se hace más restrictiva mientras disminuye el tamaño de la

partícula (Gamow, 1960: 411). A partir de estos postulados los trabajos de Otto Hahn, Enrico Fermi y Leo Szilard conducen a la reacción en cadena, la transmutación de unos elementos en otros y la desintegración del átomo, que un equipo bajo la dirección de Robert Oppenheimer aplica en 1945 para la fabricación de la bomba atómica.

Instrumentos como el radiotelescopio posibilitan observaciones que permiten a Lemaitre y Gamow formular teorías cosmológicas, entre ellas la del origen del universo en un estallido o *Big Bang*, que Steven Weinberg describe como "...una explosión que se produjo simultáneamente en todas partes, llenando todo el espacio desde el comienzo y en la que toda partícula de materia se alejó rápidamente de toda otra partícula" (Weinberg, 1978: 16). La verificación de que los cuerpos celestes más remotos presentan un corrimiento hacia el rojo en el espectro sustenta la hipótesis de que constantemente se alejan unos de otros y de que por lo tanto el universo se expande. Nuevas teorías suponen que esta expansión podría convertirse en contracción hasta concentrar nuevamente toda la masa en un colapso total, y otras suponen que de allí podría surgir un universo que se expandiera y contrajera indefinidamente, mientras que Alfred Hoyle postula un estado equilibrado del cosmos. Las observaciones permiten confirmar la existencia de singularidades desconcertantes tales como los agujeros negros, cuya gravitación es tan fuerte que de ellos no puede escapar la materia ni la luz (Sullivan, 1980), o postular la de los llamados túneles de gusano, en los cuales Kip Thorne vislumbra la contradictoria posibilidad de viajar por el tiempo (Thorne, 1995: 446-481). La física de inicios del siglo XXI parece dominada por la teoría de los llamados filamentos o cuerdas, objetos largos y pesados con sección transversal minúscula, quizá formadas en las etapas iniciales del universo entre regiones de éste que adquirieron estados diferentes al enfriarse tras el *Big Bang* (Hawking, 2002: 138, 141).

Como resume Albert Einstein, en palabras que todavía conservan su validez, sobre las interrogantes fundamentales de la física contemporánea:

...al tratar de contestarlas tenemos que abandonar la descripción de los sucesos atómicos como acontecimientos en el tiempo y en el es-

pacio, tenemos que alejarnos, más todavía, del clásico punto de vista mecánico. La física de los cuantos posee leyes que rigen multitudes y no individuos. No describe propiedades, sino probabilidades, no tenemos leyes que revelen el futuro de los sistemas, sino leyes que expresan las variaciones en el tiempo de las probabilidades y que se refieren a conjuntos o agregaciones de un gran número de individuos (Einstein, 1952: 249).

Estas formulaciones encuentran su correlato en teorías que proclaman una paralela incertidumbre en las ciencias humanas, agrupadas bajo el impreciso rótulo de posmodernidad. El llamado pensamiento único decreta la muerte de la ética, de la historia, de la política, de la sociología, de la estética, en aras de la economía de libre mercado entendida como juego suma cero, en el que las ganancias de cada parte se hacen a costa de la pérdida de las restantes. Esta concepción totalizante prohíbe, paradójicamente, las concepciones de totalidad (Britto García, 1997: 178-201).

A LA BÚSQUEDA DEL UNIVERSO INTEGRADO

Bajo los paradigmas relativistas y azarísticos la ciencia del siglo XX y la de principios del siglo XXI avanza hacia una progresiva desconfianza sobre la posibilidad de describir de manera precisa lo que observa, y hacia una prolífica diversificación. Al abarcar cada vez más campos del conocimiento con objetos separados y métodos diferentes, las ciencias se ramifican corriendo el riesgo de perder contacto entre sí. ¿Habremos erigido una nueva torre de Babel?

Lejos de revelar la limitación de la ciencia, ambos rasgos reflejan la magnitud de las tareas que acomete. Los cálculos y predicciones pierden necesariamente precisión cuando las observaciones alteran al sujeto observado o cuando éste es tan complejo que intervienen múltiples variables. Sigue abierto el debate sobre si el universo obedece o no a leyes causales cognoscibles. Einstein mantuvo hasta el

final su convicción de que “Dios no arroja dados al azar”, y dedicó sus últimos años a tratar de configurar una teoría del campo unificado que explicara el mayor número posible de fenómenos en diversos dominios de la física.

Por tanto, la ciencia de comienzos del siglo XXI todavía se debate sobre el problema central de la decidibilidad, vale decir, de elegir entre la postulación de que es posible resolver de manera cierta, exacta e inobjetable todos los problemas del conocimiento, y la postulación de la incompletud de Gödel. Como señala Gregory Chaitin,

...algunos todavía esperan que el mundo tenga una complejidad finita como la del número Π (Pi), y de que sólo *parezca* tener una complejidad mayor. ¡Si así fuera, entonces podríamos eventualmente ser capaces de comprenderlo todo, y habría una definitiva Teoría del Todo! Pero para ello habría que creer que la mecánica cuántica es incorrecta tal y como se practica, y que todo el azar cuántico es realmente sólo *seudo-azar*, como el que se encuentra en los dígitos de Π . ¡Entonces habría que creer que este mundo es en verdad determinístico, incluso si nuestras teorías científicas actuales dicen que no lo es! (2007: 202).

Problema central a ser resuelto por las mentes del futuro, aunque nunca en forma definitiva, pues en la ciencia toda certidumbre es provisional.

Por otra parte, a medida que los campos del conocimiento se amplían, desaparecen las categóricas divisiones entre ellos. La biología contemporánea linda con la química a través de la bioquímica, ésta con la física y ella a su vez con la matemática, la lógica y la teoría del conocimiento. Señalamos sólo a título de ejemplo algunas de las nuevas ciencias y teorías que aplican técnicas interdisciplinarias o intentan integrar diversos dominios del conocimiento:

- La *ecología* utiliza metodologías de la química, la bioquímica, la climatología, la biología, la sociología, la economía y hasta la política para estudiar los equilibrios y desequilibrios de los sistemas vivientes en nuestro planeta.

- La *teoría de la información*, desarrollada a partir de los trabajos de Saussure, Shannon y Weaver, ofrece una medida de la cantidad de información asociada con un determinado estado de cosas, así como la medida del grado en que tal información se transmite a otros puntos y es asequible en ellos (Dretske, 1987: 1). Es de índole esencialmente cuantitativa, y por ello categoriza a la información como una expresión isomórfica de la entropía negativa termodinámica, vale decir, como un grado significativo de orden opuesto al desorden. Sus conclusiones encuentran aplicación en casi todas las disciplinas contemporáneas.
- La *teoría de los juegos*, iniciada por Neumann y Morgenstein, posibilita la evaluación matemática de las estrategias de oponentes racionales que intentan optimizar ganancias y minimizar pérdidas en sus interacciones con rivales o con la naturaleza (Heims, 1986).
- La *teoría de la decisión*, estrechamente vinculada con la de los juegos, intenta valorar matemáticamente la incertidumbre y las categorías de decidibilidad y establece modelos para los mecanismos de adopción de decisiones y las estrategias de elección entre alternativas (White, 1972).
- La *sociobiología*, expuesta por investigadores como Edward O. Wilson, intenta superar el enfoque simplista de la lucha por la vida como un combate indiscriminado de todos los organismos contra todos, para enfatizar las relaciones de organización, colaboración e incluso sacrificio dentro de una misma especie y entre especies distintas que optimizan la posibilidad de sobrevivir para todos (Wilson, 1976).
- La *siquiatria ortomolecular*, fundada por Linus Pauling, busca el origen de los desarreglos del sistema nervioso en las carencias, los excesos o los desequilibrios de ciertas sustancias químicas necesarias para su funcionamiento (Pauling, 1973).
- La *teoría general de los sistemas*, desarrollada por Ludwig von Bertalanffy, formula reglas comunes para los isomorfismos o fenómenos análogos presentes en todos los agregados complejos, desde los objetos estáticos tales como los cuerpos inanimados, hasta las

maquinarias sencillas como relojes y sistemas de control, los sistemas abiertos, como el fuego y los organismos, el hombre, las sociedades y los sistemas simbólicos. De particular interés es el señalamiento de Bertalanffy de que los sistemas abiertos, es decir, aquellos que interactúan con su medio —organizaciones y sociedades—, presentan fenómenos tales como la autorregulación, la homeostasis y la teleología o búsqueda de metas y propósitos (Bertalanffy, 1973).

- *La teoría del caos*, elaborada por investigadores como James Gleick, contra lo que su nombre sugiere, evidencia el orden que subsiste incluso dentro de los fenómenos más complicados y aparentemente azarísticos y desordenados: torbellinos, enjambres y fractales, y la sutileza de las relaciones causales que operan en ellos (Gleick, 1988).
- *La teoría de las catástrofes*, desarrollada por investigadores como E. C. Zeeman, Denis Postle y René Thom (Postle, 1980), evidencia cómo entre los campos más diversos, de índole conceptual, física, biológica e incluso social y política se pueden advertir fenómenos estructuralmente similares de lenta acumulación de tensiones opuestas que estallan en crisis repentinas formalizables mediante modelos matemáticos (Thom, 1975).

Diversas escuelas de pensamiento tratan de recuperar la unidad entre las disciplinas científicas mediante teorías totalizantes que abarcan dominios nuevos o campos a los cuales en alguna oportunidad se les negó la categoría de ciencias exactas. Tal es el caso del ámbito de investigación interdisciplinario abierto a mediados del siglo XX por las llamadas *ciencias cognitivas* que estudian los procesos del conocimiento en los animales, el hombre y las máquinas. Una vez más, en ellas se funden objetos de estudio y métodos compartidos:

- La *filosofía cognitiva* intenta establecer los presupuestos generales del funcionamiento de los procesos mentales.
- La *psicología cognitiva* se nutre de la experiencia de la psicología de la Gestalt, las teorías del aprendizaje de Piaget y el aporte de la infor-

mática para desentrañar los mecanismos mediante los cuales la mente humana percibe, memoriza y procesa información (Piaget, 1935).

- La *lingüística cognitiva* intenta formalizar dentro de un marco matemático los mecanismos de la información utilizando los aportes de Shannon y la construcción de mensajes partiendo de la teoría de Noam Chomsky sobre la capacidad innata para construir y articular sintácticamente frases y oraciones (Saussure, 1980).
- La *antropología cognitiva* parte del enfoque estructuralista de Levi-Strauss e intenta explicar las relaciones sociales con modelos de interacción aplicables a sociedades de diversos contextos geográficos e históricos.
- La *neurobiología cognitiva* postula que los procesos mentales como el aprendizaje, la planificación, el lenguaje y la percepción de formas requieren mecanismos de funcionamiento estructurados en conjuntos jerarquizados que necesitan diferentes velocidades y niveles de abstracción, mucho más complejos que los simples reflejos condicionados.
- La *inteligencia artificial*, o informática, o cibernética, parte de los trabajos de Grey Walter, Norbert Wiener, Hans Turing, Marvin Minsky, Allan Newell y John Mc Carthy, y se propone la construcción de sistemas lógicos que realizan operaciones matemáticas y clasifican información a gran velocidad, con el objeto de investigar los mecanismos que pueden llevarlos a replicar procesos mentales complejos tales como el aprendizaje, el planteamiento de problemas y la autoconciencia (Wiener, 1960; 1967; 1968). Sus últimos desarrollos abren un provocativo debate entre quienes, como Hofstadter, piensan que las máquinas pueden reproducir los mecanismos mentales (Hofstadter, 1989), y quienes como Roger Penrose (1991: 40) o Shallis aducen que ésta es todavía una pretensión sin sentido (Shallis, 1986: 18). Problema para el que Hans Turing había propuesto una perturbadora prueba: si luego de entrevistarse a ciegas con una máquina el observador no puede determinar si se comunica o no con un ser humano, no hay ya diferencia entre aquella y este último (Turing, 1950: 443-444).

En ese sentido, la meta de la unificación de las ciencias se persigue mediante la formulación de métodos comprensivos, que sean aplicables en disciplinas diversas y que posibiliten los enfoques interdisciplinarios y transdisciplinarios.

Únicamente como ejemplos mencionamos la tentativa de Carnap, miembro del llamado Círculo de Viena, de unificar los lenguajes científicos (Cortés y Martínez, 1996). Edgar Morín intenta, asimismo, formular un método que no exija la separación entre sujeto y objeto y permita unificar la pluralidad de conocimientos científicos (Morín, 1974; 1977; 1999). Igual tarea emprenden los partidarios de los enfoques llamados holísticos, reunidos con el título común de paradigmas emergentes.

Quizá reflejan acertadamente el intento de posibilitar este nuevo enfoque las palabras de Ludwig von Bertalanffy:

La representación del mundo mecanicista del pasado siglo estaba estrechamente vinculada al dominio de la máquina, al punto de vista teórico que consideraba a los seres vivos como máquinas y a la maquinización del hombre mismo. Sin embargo, los conceptos acuñados por los desarrollos científicos modernos encuentran su más obvio ejemplo en la propia vida. Por ello, existe la esperanza de que el nuevo concepto del mundo de la ciencia sea una expresión del desarrollo hacia una nueva etapa en la cultura de la humanidad (1973: 266).

Al cerrar el siglo XX, Stephen Hawking expone sus esperanzas de encontrar una teoría unificada de la física, y añade que "...una teoría unificada completa, consistente, es sólo el primer paso: nuestra meta es una completa comprensión de lo que sucede a nuestro alrededor y de nuestra propia existencia" (1988: 218).

CAPÍTULO IV

EL MÉTODO CIENTÍFICO

TRADICIÓN, REVELACIÓN, AUTORIDAD

DURANTE MUCHO tiempo el conocimiento humano dependió esencialmente de tres estrategias: tradición, revelación y autoridad.

La *tradición* agrupa recuerdos de sensaciones entre las cuales establece relaciones asistemáticas que interpreta juzgando por la mera apariencia. El hombre aprende que golpeando pedernales se obtienen herramientas afiladas; que también saltan chispas con las que se puede encender fuego, que las estaciones se repiten en un mismo orden. También aprende que la tierra parece más o menos plana, que las estrellas semejan pequeños puntos de luz en una bóveda oscura, que los cuerpos parecen crecer al acercarse y achicarse cuando se alejan.

Para las relaciones más complejas la humanidad elaboró respuestas imaginarias que fueron presentadas como *revelación* ofrecida por seres superiores. Según los hebreos, el hombre fue moldeado con arcilla; de acuerdo con los mayas los dioses crearon sucesivamente razas de hombres hechas de barro, de madera y de maíz; para los griegos el fuego fue robado a los dioses por Prometeo.

Con el tiempo se atribuyó a estas estrategias de conocimiento el carácter de verdad indiscutible o *autoridad*. Quienes dudaron de ellas fueron reprimidos, y lo imaginario, la apariencia y la opinión superficial se convirtieron en obstáculos para conocer lo real. A pesar de

que, según apunta Ludwig Wittgenstein, “De que me *parezca* a mí –o a cualquiera– que sea así, no se sigue que *es* así” (1972: 13).

LA INVESTIGACIÓN Y LAS HIPÓTESIS

En esencia, el método científico: 1) plantea un problema; 2) formula hipótesis que pudieran resolverlo; 3) extrae de ellas consecuencias susceptibles de ser sometidas a verificación; 4) somete a pruebas dichas consecuencias para confirmar o descartar dichas hipótesis; 5) valora y, en lo posible, cuantifica los resultados de esas pruebas; 6) integra las hipótesis confirmadas en estructuras conceptuales como teorías, leyes y modelos de carácter abstracto y general.

Identificación del problema

Toda investigación parte del hallazgo de una dificultad o problema que no puede ser explicado o resuelto con los conocimientos de que disponemos. Al carecer de explicación satisfactoria desafía nuestra confianza en el orden de las cosas que conocemos y nos incita a postular un nuevo tipo de orden. A menudo se necesita genio, o una poderosa intuición, para identificar un problema por resolver en lo que todos consideran normal o intrascendente. Cualquiera puede ver caer una manzana; sólo Newton desarrolla la ley de gravitación universal.

Formulación de hipótesis

Para comenzar a resolver el problema debemos plantear una hipótesis, una explicación tentativa a la que atribuimos sólo un valor provisional mientras no sea confirmada. Hipótesis significa tesis menor, propuesta, conjetura, pequeña tesis, tesis en formación.

Con el fin de formular hipótesis significativas debemos conocer ampliamente el tema y saber identificar los rasgos más determinantes del problema planteado. Toda hipótesis es exploración de un terreno

desconocido: por eso no hay método infalible para plantear conjeturas valiosas. Entre los medios para formularlas se recomienda tratar de percibir analogías entre los hechos cuya explicación conocemos y aquellos que tratamos de explicar.

Una vez más la información, la intuición y el genio cooperan en esta operación preliminar. Sobre tal facultad feliz afirma De Morgan que: “Una hipótesis no se obtiene por medio de reglas, sino gracias a esa sagacidad imposible de describir, precisamente porque quienes la poseen no siguen, al actuar, leyes perceptibles para ellos mismos” (Cohen y Nagel, 1968, I: 40). Como apunta Karl Popper, “...el verdadero procedimiento de la ciencia es operar con conjeturas: saltar a conclusiones —a menudo después de una sola observación” (1974: 53).

Si no existen reglas precisas para imaginar hipótesis, sí las hay para elegir aquellas que permiten seguir una investigación.

1. La hipótesis debe permitir el desarrollo de deducciones que posibiliten establecer si explica o no el problema. Si la hipótesis se refiere a hechos comprendidos en las ciencias empíricas, de ella se deben derivar implicaciones que puedan ser sometidas a verificación experimental.
2. La hipótesis debe aportar una respuesta al problema que se investiga.
3. La hipótesis debe ser refutable, en el sentido de que la aplicación de un método permita descartarla si no explica el problema. Una hipótesis que pretenda ser válida independientemente del resultado de la investigación no tiene valor explicativo. Como señala Popper, “...se puede resumir diciendo que el criterio del estatus científico de una teoría es su posibilidad de declararla falsa, o su refutabilidad, o su verificabilidad” (Popper, 1974: 37).
4. La hipótesis debe ser lo más simple posible, y revestir la generalidad suficiente para explicar por sí misma el mayor número de fenómenos que se consideran en la investigación.

Según vimos, Guillermo de Ockham postuló que “los entes no deben multiplicarse sin necesidad”, implicando que entre varias hipótesis que expliquen el mismo fenómeno es probable que sea cierta la

más sencilla. Leonardo da Vinci afirma que “dada la causa, la naturaleza produce los efectos por el modo más sencillo posible” (Vinci, 1952: 62), Pero tampoco hay reglas inequívocas para calificar la sencillez de la hipótesis. Una vez más el investigador debe aplicar a fondo su intuición.

La observación, los hechos y los experimentos

La observación

En las ciencias empíricas las hipótesis se verifican o se refutan mediante la observación sensorial sistemática. Como apunta Popper “...repetidas observaciones y experimentos funcionan en la ciencia como pruebas (*test*) de nuestras conjeturas o hipótesis, es decir, como intentos de refutación” (1974: 53).

Pero no bastan observaciones casuales o espontáneas para llegar a la verdad. Einstein aconseja que “no debemos creer, siempre, en las conclusiones intuitivas basadas sobre la observación inmediata, pues ellas conducen a menudo a equivocaciones” (Einstein, 1952: 14). Por ello, en la etapa de la observación:

1. Lo que percibimos debe ser a su vez interpretado, clasificado y valorado mediante hipótesis que lo sitúen en el marco de los conocimientos que dominamos. Como afirma Leonardo da Vinci, “la experiencia nunca falla, fallan sólo nuestros juicios haciéndonos ver efectos que no han causado nuestros experimentos” (1952: 60).
2. Debemos evitar en lo posible los errores de observación.
3. La hipótesis determina las características del objeto observado en las que debemos reparar. Acertadamente señala Karl Popper que “...de hecho la creencia de que podemos comenzar con sólo la pura observación, sin nada que tenga la naturaleza de una teoría, es absurda, y puede ser ilustrada con la historia del hombre que dedicó su vida a las ciencias naturales, escribió todo lo que podía observar, y legó su inapreciable colección de observaciones a la Royal Society

para que fuera usada como evidencia inductiva. Esta historia debería enseñarnos que se puede coleccionar grillos provechosamente, pero no observaciones” (Popper, 1974: 47).

4. Con frecuencia la observación requiere de complejos instrumentos, tanto conceptuales como materiales, cuyas posibilidades y límites son indispensables dominar, y que a veces es preciso desarrollar especialmente para la experiencia que se inicia.

Los hechos

La observación busca establecer los “hechos”. El investigador considera “hechos” a fenómenos de diversa complejidad. En primer, lugar, a una simple sensación o percepción (calor). En segundo lugar, a la interpretación de esa sensación (el calor del fuego). También, a la afirmación de que ciertos caracteres se asocian o se suceden de manera invariable (el fuego produce calor). En fin, al conjunto de fenómenos situados en el tiempo y el espacio que demuestran o refutan una hipótesis (el calor aplicado sobre una sustancia combustible en presencia de oxígeno produce fuego). Algunos investigadores subjetivistas prefieren no hablar de “hechos” sino de “sensaciones” o “fenómenos”.

Los experimentos

Un experimento es una situación espontánea o provocada que premeditadamente observamos en las condiciones óptimas para tal fin y aplicando instrumentales de registro y de medición para decidir sobre la verificación o refutación de una hipótesis.

El experimento pertenece en esencia al ámbito de las ciencias empíricas y al método hipotético-deductivo, y está encaminado a contrastar las afirmaciones de una ley o una teoría con los hechos. John Stuart Mill afirma que

...la primera y más obvia distinción entre observación y experimento es que el último es una extensión inmensa de la primera. No sólo nos permite producir un número considerablemente mayor en circunstancias dadas de lo que la Naturaleza ofrece espontáneamente, sino

que también, en miles de casos, produce la clase precisa de variación a la que aspiramos para descubrir la ley del fenómeno (un servicio que la Naturaleza, que se halla armada sobre bases distintas de las que permiten facilitar nuestro estudio, se presta raramente a brindarnos) (Ferrer Mora, 2001: 2612).

La experimentación a veces requiere complejos aparatos y laboratorios, pero experiencias decisivas pueden ser efectuadas con instrumentos muy sencillos. Demócrito nos invita a observar cómo una mancha de aceite no se extiende indefinidamente en la tela, para concluir que la materia no se divide infinitamente y que ha de estar compuesta por átomos. Lucrecio incita a hundir un vaso invertido en agua para comprobar la existencia física del aire.

Por otra parte, muchos investigadores recurren al llamado “experimento mental”, que consiste en imaginar la situación sin llevarla a la práctica. Galileo y Descartes recurren a este expediente con frecuencia. Einstein fundamenta su teoría de la relatividad en numerosos experimentos mentales (Einstein, 1952).

LA CLASIFICACIÓN, LA DEFINICIÓN Y LA DIVISIÓN

La clasificación

Los “hechos”, o sensaciones, o fenómenos que el investigador verifica revisten poco valor mientras permanezcan aislados e inconexos. Para emplearlos como instrumentos de nuevos conocimientos deben ser clasificados y definidos.

Clasificar presupone la formulación de hipótesis sobre la naturaleza de los hechos a ser observados. Implica asimismo la necesidad de elegir en ellos los caracteres más relevantes, que justifiquen tanto su división en categorías como su inclusión en ellas. Para clasificar a los animales es más pertinente distinguirlos atendiendo a su condición de ovíparos o vivíparos que a su color.

La definición

Sobre las cosas y las relaciones entre ellas tenemos nociones aproximadas que pueden originar confusiones. La ciencia, que aspira a establecer con precisión tanto la naturaleza de las cosas como las relaciones entre ellas, requiere esclarecer con precisión el sentido de sus vocabularios y conceptos, con un lenguaje que reduzca al mínimo el error y la ambigüedad. Como sostiene Bertrand Russell en su *Introducción a la filosofía matemática*, “...por ser engañoso el lenguaje, como también por difuso e inexacto cuando se aplica a la lógica (para la cual no fue nunca destinado), el simbolismo lógico es absolutamente necesario para cualquier tratamiento exacto y completo de nuestro tema” (Russell, 1962a: 354).

Ya Aristóteles decía que las definiciones se obtienen por género próximo y diferencia específica. Vale decir, la definición comienza por adscribir el fenómeno dentro de una categoría general, para luego especificar qué lo diferencia de otros fenómenos distintos dentro de ella. Para Pucciareli y Romero, la definición es un juicio, que afirma lo que el sujeto es, y que tiene por función delimitar con precisión lo definido, separarlo idealmente de todo lo demás (Pucciareli y Romero, 1939: 68). Sirve de ayuda al investigador cuando sustituye expresiones complejas e imprecisas por otras breves y sencillas.

Sobre el uso científico de las definiciones W. Bridgman ha desarrollado una disciplina llamada operacionalismo, según la cual “...entendemos por cualquier concepto nada más que un conjunto de operaciones; *el concepto es sinónimo con la correspondiente serie de operaciones*” (Ferrater Mora, 2001: 2637).

Las definiciones nominales

Para precisar el sentido de un término con fines científicos se emplean las llamadas definiciones nominales, o acuerdos sobre el uso de un determinado símbolo verbal (al cual se denomina el *definendum*) para representar un cierto grupo de nombres o símbolos o conceptos, a los cuales se llama el *definiens*, en el entendido de que dicho *definendum* se

usará única y exclusivamente para referirse a ese *definiens*. En matemáticas, por ejemplo, podemos convenir en llamar X a la incógnita, a la magnitud que queremos revelar y sólo a ella.

La definición nominal es un simple acuerdo para atribuir a un término un significado preciso, y no necesariamente enriquece nuestro conocimiento de lo definido, ni permite juzgar su validez o su falsedad. Sin embargo, es útil para hacer más fácil de expresar y manejable un concepto, y para separarlo de asociaciones familiares confusas. Llamar X a la incógnita no revela su magnitud, pero es más práctico que repetir “la cifra que queremos conocer” y libra de confusiones cuando se quiere mencionar “la mitad de lo que queremos saber” o “lo que queremos saber multiplicado por infinito”.

Las definiciones reales

Definición real es la que comprende dos grupos de conceptos, cada uno con un sentido propio y que pueden ser cambiados el uno por el otro sin que se altere el significado. En la definición real el *definendum* y el *definiens* se refieren a la misma cosa o carácter, simbolizan el mismo universal, expresan la naturaleza de éste, y por tanto tienen el mismo significado. Así, cuando el *definiens* y el *definendum* son equivalentes le confieren a la definición el carácter de verdadera. Para que resulte útil, el *definiens* ha de ser intuitivamente más comprensible que el *definendum*.

Una verdadera definición real linda con la redundancia, y sólo tiene valor si el *definiens* aporta un análisis válido del *definendum*.

La definición real cumple también con el propósito de destacar la estructura o los rasgos más relevantes de un concepto, tanto para precisar y diferenciarlo de otros como para hacer posible la investigación del objeto del estudio. Por tal motivo, puede desempeñar el papel de premisa para una investigación lógica.

En las llamadas ciencias analíticas, como la matemática, las definiciones reales tienen el carácter de implícitas, en el sentido de que implican lo definido. En estas ciencias todas las definiciones se derivan de un conjunto reducido de las que llamó Aristóteles “definiciones indemostrables”, hoy denominadas proposiciones originarias o axiomas.

La geometría euclidiana se funda en axiomas tales como el de que las paralelas nunca se encuentran, de los cuales se afirma que por evidentes no necesitan demostración. “Los axiomas de un sistema axiomático matemático deberían ser evidentes. Entonces, ¿de qué manera se evidencian?”, se pregunta con toda razón Wittgenstein, para contestarse provisionalmente: “Axioma es algo no porque lo reconocemos como tal siendo en extremo verosímil, poco menos que cierto, sino porque le atribuimos una determinada función tal que choca con la de una proposición empírica” (Wittgenstein, 1981: 29).

Los predicables

Una definición es, en esencia, la vinculación de un sujeto con un predicado. Si digo que el hombre es un ser racional vinculo el sujeto humanidad con el predicado racionalidad.

Aristóteles desarrolló un sistema sobre las relaciones posibles entre sujeto y predicado. Un sujeto A puede no ser convertible con el predicado B, en cuyo caso el predicado no le es atribuible. O bien el sujeto A es convertible en el predicado B de tal manera que puede afirmarse que si algo es B también es A. Si el predicado B es convertible con A, puede constituir la definición, la propiedad, el género, la diferencia o el accidente del sujeto, según el grado de convertibilidad que presente con este último:

- a) La *definición*, según Aristóteles, “es una frase que expresa la esencia de una cosa”, y esta esencia es el conjunto de atributos fundamentales que son condiciones suficientes y necesarias para que una cosa concreta sea considerada como una cosa del tipo comprendido en la definición.
- b) Una definición está compuesta a su vez por el *género* y la *diferencia*. El primero es lo que se predica como categoría de esencia que comparten diversas cosas que presentan diferencias específicas. Por ejemplo, el número es el género de un conjunto que se diferencia en pares e impares.

- c) La *diferencia* es aquél atributo que distingue entre sí a las especies constituyen un mismo género. Así, los números pares son divisibles entre dos, y esta diferencia los separa de los impares.
- d) La *propiedad* es un predicado que se deriva de la definición, y que no constituye la totalidad de la esencia de un sujeto, pero que sólo puede ser adscrita a ese sujeto y es convertible con él. Los números pueden ser decimales, y aunque no todo número es decimal, si algo es decimal es un número.
- e) El *accidente* es una característica adscrita a un sujeto que no constituye ni definición ni propiedad ni género de éste, y que perfectamente puede o no pertenecerle. Un número puede ser trazado con color amarillo, pero la definición de los números no implica que deben tener tal tono ni que dejan de serlo cuando están así coloreados.

En resumen, la definición metodológicamente correcta debe ser expresada en lenguaje claro y directo, en forma positiva, debe expresar la esencia del objeto, especificar en lo posible su género, su diferencia, su propiedad y accidentes, lograr la equivalencia entre *definiens* y *definendum*, ser aplicable a éste y no a otro objeto, y evitar la tautología, vale decir, la atribución al sujeto de un predicado que meramente lo repita.

La división

La división lógica consiste en la discriminación de las diferentes especies que comprende un determinado género. Cuando éste encabeza una división, es llamado *género supremo*; los que le siguen son denominados *géneros subalternos*, y el término que cierra la clasificación es denominado *especie ínfima*.

Para ser metodológicamente correcta la división debe separar el género en *especies* que se excluyan entre sí; debe proseguir utilizando siempre *el mismo principio o fundamento* de la división, y en lo posible debe ser *exhaustiva*.

MÉTODOS EN LA INVESTIGACIÓN EXPERIMENTAL

Orden, causas y efectos

El investigador científico usualmente está guiado por el supuesto de que la naturaleza es uniforme y ordenada, de que la rigen leyes de alcance general, de que causas semejantes producen y continuarán produciendo iguales efectos. Tal confianza no es refutada por la observación de fenómenos que parezcan contradecir las leyes conocidas o negar el orden verificado: por lo regular tales incidentes dan pie para la postulación de leyes de carácter más general y comprensivo que expliquen tanto el orden verificado como su aparente infracción.

El método científico se propone descubrir dicho orden entre los hechos que estudia. Las llamadas ciencias empíricas buscan revelarlo mediante el descubrimiento de relaciones entre causa y efecto. “No hay en la naturaleza efecto sin causa; aprehendida la causa, no te inquiete la experiencia”, afirma Leonardo da Vinci (1958: 45). Por lo general se acepta un fenómeno A como causa de otro B cuando invariablemente en todos los casos en que se observa B también se observa de manera previa A. Si cada vez que calentamos el agua al nivel del mar a más de cien grados centígrados ésta hierve, concluiremos que el calentamiento causa el hervor.

Dicha regla suscita varios problemas. Con frecuencia más de un fenómeno está asociado a la aparición del efecto; como hace notar John Stuart Mill: “Con frecuencia hay para el mismo fenómeno varios modos de producción independientes. Un hecho puede ser consecuencia de varias sucesiones invariables; puede seguir con igual uniformidad a uno cualquiera de varios antecedentes o conjunto de antecedentes” (1882). En el mismo sentido, Bertrand Russell recomienda cautela, puesto que

Una hipótesis que explique con minuciosa exactitud todos los hechos importantes no debe ser considerada como indudablemente verdadera, pues es probable que sólo algún aspecto muy abstracto de la

hipótesis sea lógicamente necesario para las deducciones, relativas a fenómenos observables, que hacemos a partir de ella (Cohen y Nagel, 1968, II: 93-96).

Por otra parte, filósofos como David Hume han atacado la idea de que se pueda establecer una relación entre dos hechos que le atribuya a uno de ellos el carácter de causa y a otro el de efecto. Hume postuló que lo más que se podía establecer era un vínculo de sucesión temporal entre ambos, y negó que a través de los sentidos podamos conocer las cosas o sus causas, pues "...los sentidos sólo son conductos por los que se transmiten estas imágenes sin que sean capaces de producir un contacto directo entre la mente y el objeto" (Hume, 1994: 179).

Para tratar de establecer las posibles relaciones entre hechos (o fenómenos) que puedan ser vinculados como causas y efectos, se han desarrollado los métodos de la concordancia, de la diferencia, de la variación concomitante y de los residuos.

La concordancia

El principio de concordancia establece que cuando varios casos del fenómeno observado presentan una sola circunstancia común ésta puede ser considerada la causa o el efecto de dicho fenómeno.

El método de la concordancia encuentra su límite en el hecho de que no es posible observar todas las veces que se repite un fenómeno para verificar si en todas y cada una de ellas están asociadas invariablemente la causa y el efecto. La capacidad del investigador es limitada, y a veces un fenómeno acontece una sola vez o se repite poco. Por otra parte, hemos visto que según John Stuart Mill a menudo un mismo fenómeno puede originarse de varios modos independientes.

El método de la concordancia puede ser también aplicado de manera negativa, para afirmar que si una circunstancia no aparece asociada en todos los casos del fenómeno no puede ser causa de éste.

La diferencia

El método de la diferencia postula que si en dos casos observados que presentan todas las características iguales con la salvedad de una, el fenómeno se presenta sólo en uno de ellos, la diferencia única entre ambos casos es o bien la causa, o bien el efecto, o una parte necesaria de la causa del fenómeno.

El de la diferencia no es por sí solo un método de descubrimiento, pues requiere hipótesis acertadas sobre las características específicas que han de ser observadas, fundamentadas en el análisis y selección cuidadosa de los hechos a ser observados.

Tampoco es por sí solo un canon de prueba, pues su sola aplicación no permite decidir con certeza si el factor cuya presencia o falta se verifica es el único que causa el fenómeno observado o si está asociado a elementos más complejos. Su utilidad se reduce a la posibilidad de afirmar negativamente que si el fenómeno no ocurre cuando está presente su supuesta causa, ésta no puede ser la verdadera causa.

En fin, es posible utilizar conjuntamente el método de la concordancia y el de la diferencia, caso en el cual se balancean sus ventajas y desventajas.

La variación concomitante

Más fructífera resulta la aplicación combinada de ambos métodos que propone John Stuart Mill, quien postula que cada vez que un fenómeno se modifica siempre que otro fenómeno varía de una forma específica, o bien es efecto o causa de esta variación, o está conectado a ella por algún vínculo de causalidad (Cohen y Nagel, 1968, II: 84).

Esta aplicación combinada sólo es útil cuando resulta posible medir y comparar estadísticamente grados y magnitudes de los supuestos efectos y causas.

Dicho método también es limitado, porque para aplicarlo debemos conocer de antemano que el grado de variación es constante, y ello

no nos capacita necesariamente para descubrir las reglas que rigen la modificación o que ésta es en realidad constante.

El método de la variación concomitante presenta también una utilidad limitada como canon de prueba, ya que siempre es posible encontrar correlaciones estadísticas entre diversos fenómenos que pueden no estar vinculados entre sí.

Dicho método es, en cambio, útil para proponer orientaciones para la investigación, detectar posibles relaciones causales y probar o improbar hipótesis relativas a ellas y descartar hechos no pertinentes.

El método de los residuos

El método de los residuos elimina sistemáticamente en un fenómeno observado todas aquellas manifestaciones que se conocen como efectos de ciertas causas, y asume que el residuo del fenómeno ha de ser consecuencia de los antecedentes no eliminados.

Este método es de aplicación limitada cuando se estudian simultáneamente dos o más causas vinculadas entre sí, cuyos efectos no son posibles determinar por separado, teniendo como punto de partida los conocimientos de que se dispone sobre una sola de ellas.

De la exposición precedente se concluye que los métodos experimentales presentan una utilidad limitada para el descubrimiento y la prueba, pero sí tienen valor para descartar falsas hipótesis. Ambos postulan los conceptos de relación invariable y de causa a efecto, pero como hemos visto ambas nociones están sujetas a duras críticas.

LA INDUCCIÓN

La lógica deductiva aporta las normas dentro de las cuales se pueden inferir proposiciones singulares o particulares teniendo como fundamento axiomas o premisas universales. Como señala Alan F. Chalmers, "...las argumentaciones lógicas válidas se caracterizan por el hecho de

que, si la premisa de la argumentación es verdadera, entonces la conclusión debe ser verdadera. Las argumentaciones deductivas poseen ese carácter” (1998: 28).

Por el contrario, la lógica inductiva sistematiza la manera de utilizar premisas particulares o singulares para derivar de ella leyes o conclusiones de carácter universal. Chalmers sintetiza el principio de inducción en el sentido de que “...si en una gran variedad de condiciones se observa una gran cantidad de A y todos los A observados, sin excepción, poseen la propiedad B, entonces todos los A poseen la propiedad B” (Chalmers, 1998: 28).

El valor de la inducción, como el de todo método, es relativo. A este respecto, Stuart Mill se pregunta: “¿Por qué en algunos casos basta un solo ejemplo para realizar una inducción completa, mientras que en otros miles de ejemplos coincidentes, de los cuales no se conoce o presume una sola excepción, contribuyen muy poco a establecer una proposición universal?” (Cohen y Nagel, 1968, II: 104). Más drásticamente, Popper afirma que “...la inducción, es decir, la inferencia basada en muchas observaciones, es un mito. No es ni un hecho psicológico, ni de la vida ordinaria, ni del método científico” (1974: 53). Y Gastón Bachelard añade que “...el hecho científico evolucionado tiene muy poca posibilidad de desarrollarse por una acumulación de observaciones naturales” (1969: 336).

Chalmers resume la respuesta inductivista a estas críticas en el sentido de que “es lícito generalizar, a partir de una lista finita de enunciados observacionales singulares, una ley universal”. Y añade que para que el inductivista considere válida una generalización exige que el número de enunciados observacionales que la fundamentan sea grande; que las observaciones se repitan en una amplia variedad de condiciones, y que ningún enunciado observacional aceptado entre en contradicción con la ley universal derivada (Chalmers, 1998: 14).

La analogía

La analogía, o comparación de semejanzas y diferencias comunes a los fenómenos que observamos, es otro método útil para extraer conclusiones

de las muestras. La analogía es *positiva* cuando la característica que estudiamos aparece siempre en un conjunto de objetos y es común a todos ellos, y *negativa* cuando el conjunto de objetos carece de dicha propiedad.

LA CUANTIFICACIÓN

El investigador procura determinar no sólo el aspecto cualitativo de los fenómenos, sino también su aspecto cuantitativo. Sostiene Leonardo la posición extrema de que “ninguna investigación merece el nombre de ciencia, si no pasa por la demostración matemática” (Vinci, 1958: 42). Por su parte, Galileo afirma que

...la filosofía está escrita en este gran libro que continuamente tenemos abierto ante los ojos (me refiero al Universo), pero no se puede entender si antes no aprendemos a descifrar la lengua y los caracteres en que está escrito. Y está escrito en lengua matemática, y los caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas (Galileo, 1981: 62-63).

La matemática es una ciencia en sí misma; como disciplina aplicada, forma parte de la estructura de las proposiciones de la casi totalidad de las ciencias.

Como la formulación de hipótesis, la aplicación de las matemáticas exige intuición, sagacidad, conocimiento previo del tema. Para su óptimo empleo vale la pena acoger ciertos principios:

- No tiene sentido cuantificar todos los fenómenos que observamos, sino sólo los que estimamos pertinentes o significativos.
- Para iniciar la cuantificación debemos separar los fenómenos en *grupos discretos* o conjuntos que puedan ser considerados como tales, vale decir, que puedan ser distinguidos en unidades o fracciones, tales como los granos de arena, los centímetros cúbicos de un líquido.
- Debemos además definir con exactitud las categorías que vamos a cuantificar. Si deseamos medir en un centro poblado el por-

centaje de marginalidad, es indispensable que precisemos dicho concepto con rasgos susceptibles de apreciación objetiva, y si es posible, también cuantitativa.

En fin, las posibilidades de la matemática no se limitan a la descripción meramente cuantitativa. Instrumentos como el análisis, el cálculo infinitesimal, el cálculo de probabilidades, la topología, la teoría de las catástrofes, la teoría de la información permiten la descripción cada vez más minuciosa y cualificada de fenómenos complejos, tales como curvas, objetos con formas irregulares, ondas, torbellinos, fractales, interacciones entre cuerpos numerosos, relaciones entre sistemas biológicos y sociales.

El muestreo

Con frecuencia es imposible o impráctico contar y adscribir en categorías todas y cada una de las unidades discretas de las que consta el grupo estudiado. Se hace entonces indispensable obtener una conclusión general a partir de muestras parciales del fenómeno.

El del muestreo es un método complejo, para cuya aplicación, entre otras consideraciones, se debe atender a las siguientes:

- En primer lugar, hay que precisar y justificar la metodología con que se distinguen las categorías y la relevancia que éstas presentan en relación con el fenómeno investigado.
- Luego, es indispensable fijar el tamaño de la muestra que pueda reflejar adecuadamente la naturaleza del fenómeno. No es necesario beber toda la sopa para saber que está salada, ni examinar toda la sangre para conocer el conteo de glóbulos rojos, pero una gota no necesariamente revela las condiciones del océano.
- Se debe, además, determinar en qué grado la naturaleza de las muestras se asemeja a la de la totalidad del fenómeno, vale decir, cuál es su grado de representatividad.

- Asimismo, es preciso que el propio investigador estime los posibles errores de muestreo con el fin de que pueda acompañar al trabajo una estimación de la magnitud aproximada del error total (Seijas, 1981: 21).

LA FORMULACIÓN DE LEYES, TEORÍAS, MODELOS

Leyes

Una vez que hemos comprobado o descartado una hipótesis a través de los instrumentales antes esbozados llega el momento de expresar los conocimientos obtenidos en forma de leyes, teorías o modelos.

Hay casi tantas definiciones de ley como escuelas de pensamiento. Según Montesquieu, leyes en su acepción más extensa son las relaciones necesarias que se derivan de la naturaleza de las cosas (Montesquieu, 1964).

Para Cortés y Martínez “...una ley científica –que con frecuencia es una ley de la naturaleza– es la descripción contrastada de las regularidades que se observan en la naturaleza”. Añaden que tales leyes se expresan “...mediante enunciados descriptivos, con los que se señala simplemente lo que es o sucede; que expresan necesidad y universalidad, y que son de cumplimiento y validez universal” (1996).

Este criterio es válido sólo para las leyes descubiertas en las ciencias empíricas, y no parece aplicable a conceptos formales tales como números o enunciados, que se deducen o infieren en lugar de ser “observados”.

Sin embargo, es válido para la mayoría de las leyes científicas el hecho de que efectivamente *describen*, en lugar de prescribir u ordenar; que intentan expresar relaciones *necesarias*, vale decir, inevitables o ineludibles, y que manifiestan su validez *universal* en todos los casos en los que se dan los supuestos previstos en ellas y no sólo en algunos. Conviene advertir que las leyes que se refieren a universos complejos, como las de la probabilidad o la estadística, expresan sólo tendencias o aproximaciones, y otras, como las de la mecánica cuántica, sólo enuncian posibilidades.

Teorías

Una teoría científica es un conjunto de enunciados ordenados sistemáticamente mediante relaciones de deducibilidad, que pueden someterse a contrastación y por cuyo medio es posible la explicación y la predicción de los fenómenos de la naturaleza (Cortés y Martínez, 1996).

La teoría, por tanto, puede comprender varias leyes, integradas entre sí de tal manera que sea posible deducir lógicamente unas de otras, susceptible al igual que ellas de verificación y refutación, y con valor de explicación y de anticipación.

Conforme indican Cohen y Nagel:

La explicación científica consiste en subsumir los sucesos particulares que se quieren explicar bajo alguna regla o ley que exprese un carácter invariable de un grupo de sucesos. También las leyes pueden ser explicadas, y de la misma manera, mostrando que son consecuencias de teorías más amplias. Esta explicación progresiva de los sucesos por leyes, las leyes por otras leyes más amplias o por teorías, revela la interconexión de muchas proposiciones aparentemente aisladas (1968, II: 239).

Modelos

Un modelo es una construcción teórica creada para interpretar o representar una realidad. Es *material* cuando está constituido por una estructura que realiza en un medio físico la representación de una teoría. Es *formal o teórico* cuando consiste en una estructura abstracta que presenta un parecido o analogía con el fenómeno que representa, en cuyo caso se le expresa mediante símbolos y lenguajes formales.

Al igual que las leyes y las teorías, los modelos son aproximaciones, instrumentos para intentar comprender una realidad y predecir su evolución, pero no hay que confundirlos con la realidad misma, que siempre es más compleja.

La uniformidad y el orden de la naturaleza

Leyes, teorías y modelos tienden a sustentar el antes mencionado supuesto de que la naturaleza es uniforme y ordenada, de que está regida por leyes de alcance general, de que causas semejantes producen iguales efectos y de que así continuará sucediendo. En términos rigurosos, se debe apuntar que tal supuesto es una inferencia lograda a partir de la inducción, confirmada en numerosas oportunidades, pero cuya validez no se ha podido demostrar en forma absoluta. Aparte de que los fenómenos que se intenta describir con la física cuántica y la mecánica ondulatoria no se ajustan en forma estricta a él, algunas teorías, como la del universo inflacionario, postulan que la realidad física se ramifica en vías distintas, en algunas de las cuales podrían regir leyes naturales distintas de las que conocemos.

ÍNDOLE AUTOCORRECTIVA DEL MÉTODO CIENTÍFICO

El valor del método científico no reside en que asume la infalibilidad, sino la falibilidad. La tradición, la autoridad, la revelación se sitúan por encima de toda crítica; la ciencia se considera tal en la medida en que está abierta a ella. Revelación, autoridad y tradición se reputan infalibles, pero son de aplicación local; la ciencia es falible, pero sus conclusiones son de validez universal.

Para mantener abierta la posibilidad de crítica es preciso respetar los siguientes principios.

El método científico plantea con claridad sus hipótesis y las somete a pruebas para que cualquiera pueda repetir la experiencia y confirmarla o desvirtuarla.

Cuando la investigación es empírica se apoya en la cuantificación y el muestreo, y especifica minuciosamente el origen y categoría de las muestras, para que éstas puedan ser confirmadas, descalificadas o juzgadas en cuanto a su representatividad.

Constantemente rehace el camino de la teoría y los principios a los hechos verificados, y de éstos a aquéllos, para confirmar que no hay contradicciones ni errores y permitir a terceros examinar dicha confirmación: se vale a la vez de la verificación de los casos particulares por su confrontación con las leyes generales y viceversa.

Todo ello significa que ninguna conclusión, ninguna ley obtenida con dicho método cierra definitivamente el debate, por cuanto siempre está abierta a la contestación que pueden formular nuevas hipótesis, nuevas teorías, nuevos métodos de improbación o verificación.

La escuela que sostiene que la validez de la ciencia reside ante todo en la posibilidad de invalidar constantemente sus conclusiones es llamada falsacionismo, y Chalmers sintetiza los puntos de vista de ella en el sentido de que

...aunque nunca se puede decir lícitamente de una teoría que es verdadera, se puede decir con optimismo que es la mejor disponible, que es mejor que cualquiera de las que han existido antes (...). Una teoría muy buena sería aquella que haga afirmaciones de muy amplio alcance acerca del mundo y que, en consecuencia, sea sumamente falsable y resista a falsación todas las veces que se someta a prueba (1998: 59-64).

Karl Popper resume sus reflexiones sobre la índole autocorrectiva del método científico en la frase: “*todo* nuestro conocimiento surge *sólo* a través de la corrección de nuestros errores” (Popper, 1974: IX). Y Albert Einstein concluye que “el mejor destino que le puede tocar a una teoría es pasar a ser considerada como un caso particular de otra teoría más general” (Hoffman, 1985).

CRÍTICAS AL MÉTODO

En fin, si los resultados del método científico están siempre sujetos a contestación, ¿podemos criticar al método mismo?

Numerosos ataques se han formulado a la convicción de que un método sea el camino infalible para el descubrimiento. Según Ernst Mach, “se debe decir pues que no existe resultado científico que no hubiera podido, en principio, ser encontrado sin la ayuda de un método” (citado por Blanché, 1972). El método sólo simplifica una tarea de recolección de experiencias que podría ser interminable, garantizando una mayor economía mental al reemplazarla con la copia de ellas, la figuración de los hechos en el pensamiento y la transmisión de información de uno a otro individuo. Por ello “...la ciencia misma puede pues considerarse como un problema de *minimum*, que consiste en exponer los hechos como sea posible con el *menor gasto intelectual*” (Blanché, 1972: 326). Leszek Kolakowski rechaza “...la regla que desestima como fundamentalmente ininteligibles e inaceptables *todos* aquellos juicios que no resultan susceptibles de traducción al lenguaje de las ciencias empíricas o a los términos usualmente referidos a los objetos de la vida cotidiana” (1967: 78).

Paul Feyerabend, en su documentado y razonado estudio *Contra el método*, formula una “teoría anarquista del conocimiento” según la cual “...la idea de que la ciencia puede y debe regirse según unas reglas fijas y de que su racionalidad consiste en un acuerdo con tales reglas no es realista y está viciada” (1974: 136). No sería realista, por su visión demasiado simple del talento de los hombres y las circunstancias en que se desarrolla. Y estaría viciada, porque la tentativa de fortalecer las reglas levanta barreras que se oponen al avance del conocimiento. Considera Feyerabend que la separación entre ciencias y artes es artificial, y que la eliminación de tal división sería mutuamente fecundante.

Muchos argumentos pueden aducirse a favor de esta tesis. En primer lugar, no se ha podido explicar todavía de manera consistente cómo opera el fenómeno de la inspiración creativa (Vernon, 1970). El propio Einstein escribe que

...la tarea suprema del físico es llegar a unas leyes universales y elementales a partir de las cuales se pueda construir el cosmos por pura deducción. No hay un sistema lógico para llegar a estas leyes, sólo la intuición, basada en una inteligencia comprensiva, nos permite acercarnos a ellas (Hoffmann, 1985: 192).

Así, el adolescente Evariste Galois desarrolla los cimientos de la teoría de grupos la noche antes de morir en un duelo. El químico Kekulé sueña con una serpiente que se muerde la cola, y al despertar comprende la forma hexagonal de las moléculas de benceno, clave de la química orgánica. El químico Mendelejev sueña con una tabla de proporciones armoniosas, y esa visión le inspira para sistematizar la Tabla Periódica de los elementos que lleva su nombre. Tras largo trabajo infructuoso, al subir a un autobús Henri Poincaré tiene la revelación de que las funciones fuchsianas son idénticas a las de la geometría no euclidiana. Jacques Hadamar concluye “que la invención es elección, que esta elección está gobernada imperiosamente por el sentido de la belleza científica” (1954: 31). Roger Penrose comparte con el matemático Chandrasekhar la convicción de que “una idea bella tiene mucha mayor probabilidad de ser correcta que una idea fea”. Y Dirac afirma que fue “su agudo sentido de la belleza” el que le posibilitó descubrir la célebre ecuación que lleva su nombre (Penrose, 1991: 522).

No sólo acude la inspiración como una sensación estética: también irrumpe como desvío. James Watson emprende la vía que lo condujo a la doble hélice del ADN después de quedar en punto muerto en otro proyecto (Watson, 1969). Alexander Fleming desarrolla los antibióticos tras verificar que cepas del hongo *penicillium* le han “estropeado” un cultivo bacteriano. Wilhelm Röntgen descubre los rayos X al advertir que una emisión de radiación le vela una placa fotográfica.

Tales contrariedades exigen del investigador la llamada “serendipiedad”, o capacidad de convertir en ventajas los sucesos inesperados. Ningún método consciente rige la intuición, la inspiración, la capacidad de reemprender el camino desechando vías clausuradas o la de aprovechar situaciones casuales; pero sin ellas no hubieran sido posibles ninguno de los grandes hallazgos posteriormente confirmados con el método. El método no es más que la forma de hacer comunicable una intuición.



LA CIENCIA, FUNDAMENTOS Y MÉTODO

CAPÍTULO V

CIENCIA, ÉTICA

Y RESPONSABILIDAD DEL INVESTIGADOR

EL CONOCIMIENTO es la más poderosa herramienta de que dispone el ser humano. Como indica Dilthey, “...los métodos de las ciencias naturales han constituido un círculo de saber universalmente válido y han proporcionado al hombre el dominio sobre la tierra” (1990: 117). El sobrecogedor desarrollo de la ciencia y la técnica contemporáneas hace cada vez más evidentes las siguientes verdades:

- La primera es que la ciencia en su estado actual aporta los recursos técnicos que harían posible satisfacer las necesidades básicas de toda la humanidad, liberarla del trabajo no creativo y dotar a cada ser humano de los conocimientos necesarios para convertirse en creador.
- La segunda es que también aporta los recursos técnicos para destruir al género humano.
- La tercera es que cada avance científico y técnico incrementa el poderío para lograr uno u otro de los mencionados efectos.
- La cuarta es que la capacidad de los seres humanos para determinar que la ciencia sea aplicada para fines positivos no se incrementa al mismo paso que el poderío que ésta posibilita.

Esta última conclusión abre paso a tres posiciones extremas.

- La primera sostiene que la ciencia, al incrementar el poderío del hombre, es intrínsecamente buena porque permite a éste disponer

de una imagen progresivamente fidedigna del universo y de sí mismo, así como de los medios para satisfacer mejor sus necesidades (Russell, 1962b).

- La segunda posición condena a la ciencia porque desacreditaría modos de conocimiento tradicionales tales como la religión o la ética, y porque incrementa las posibilidades de que la humanidad se haga daño y en definitiva se autodestruya (Liscano, 1995).
- La tercera posición afirma que la ciencia no puede ser buena ni mala, puesto que sería una actividad absolutamente objetiva y éticamente neutra destinada a desarrollar leyes, teorías o modelos de índole abstracta y general (Gorz, 1996).

Las dos primeras concepciones yerran porque confunden ciencia y técnica, y la tercera porque las separa en forma absoluta y artificial.

La ciencia es el conjunto de métodos de investigación que conduce al conocimiento, y el sistema mediante el cual se organizan, relacionan y generalizan dichos conocimientos. La técnica es el repertorio de aplicaciones prácticas que se puede dar a éstos. En efecto, según dice Leonardo da Vinci, “la ciencia es el capitán y la práctica los soldados” (1952: 59). Pero hay una ruptura en la línea de mando entre ese capitán y esos soldados.

Santos Dumont, uno de los inventores del aeroplano, intentó suicidarse al saber que su creación era usada para bombardear ciudades. Durante la guerra de Crimea se preguntó al químico Faraday si era posible utilizar gases venenosos con fines militares: contestó que ello era factible, pero condenable por razones humanitarias. Pese a lo cual se lo aplicó masivamente en la Primera Guerra Mundial (Russell, 1962b: 471). Marie Curie y Frédéric Joliot se opusieron sistemáticamente a la fabricación, prueba y proliferación de artefactos nucleares: los que existen actualmente bastan para destruir a la humanidad no una, sino varios millares de veces (Joliot-Curie, 1960). Así como se expropián al trabajador los bienes económicos que produce y se niega al ciudadano el control sobre la sociedad que integra, se arrebató al científico el derecho a decidir sobre el uso de sus creaciones (Britto y Negrete, 1974: 30-50).

En los campos de concentración nazis se realizaron experimentos “científicos” inyectando gasolina en las venas de los reclusos, esterilizándolos o congelándolos. En clínicas estadounidenses se dejó sin tratamiento a centenares de negros sifilíticos para estudiar el desarrollo de la enfermedad. Albert Einstein envió al presidente de los Estados Unidos una carta en la cual lo incitaba a desarrollar un arma atómica ante la probabilidad de que los alemanes estuvieran preparando un dispositivo del mismo género; posteriormente se opuso al uso militar de la energía atómica. Robert Oppenheimer dirigió la fabricación del primer artefacto nuclear: cuando lo ve explotar acude a su mente un verso del *Bahagavad-Gita*: “Debo convertirme en la muerte, despedazador de mundos”. Espantado de su poderío intentó disuadir a las autoridades militares de construir artefactos más poderosos, lo que le costó que la Comisión de Energía Atómica le retirara la autorización para proseguir investigaciones en dicha área (Goodchild, 1986: 214). De la ciencia a la técnica no hay más que un paso, y éste puede ser el último.

Si el investigador, en cuanto científico, debe perseguir el conocimiento con la mayor objetividad e imparcialidad, también debe, como ciudadano, criticar y condenar los posibles usos malignos del saber que descubre. “Como la técnica de ingeniería se vuelve más y más capaz para alcanzar objetivos humanos, debe volverse más y más adecuada para formular propósitos humanos”, advierte Norbert Wiener (1967: 73).

En fin, carece de todo fundamento la doctrina que intenta situar a la ciencia en una esfera absolutamente abstracta y neutra, y al científico o al técnico en un ámbito imparcial, más allá de toda responsabilidad. Iniciar un proceso dirigido a proporcionar conocimiento al ser humano presupone el juicio de valor de que el ser humano está mejor con el conocimiento que sin él. De que, como afirmó Marx, “la ignorancia no ha servido a nadie para nada”. Dedicar rigor metodológico a distinguir entre lo verdadero y lo falso implica que se atribuye superioridad ética o, por lo menos práctica, a la verdad sobre la mentira. Y la mayoría de los modelos de “neutralidad” científica son tan cuestionables como el de John von Neumann, fundador de la teoría de los juegos, de quien Steve J. Heims manifiesta que adoptaba la posición

...de pretender una absoluta neutralidad política y ética de la ciencia y de su propio trabajo y la de estar en disposición de ponerla, en consecuencia, al servicio de los que pueden comprarla y usarla, sin cuestionarse los fines de los mismos (1986: 15).

Partidario acérrimo de la proliferación de artefactos nucleares, de los que opinaba “no creo que ninguna arma pueda ser demasiado grande”; Neumann participó en la conjura que inhabilitó a su colega Oppenheimer; en 1950 manifestó “...si ustedes dicen que por qué no bombardear mañana, yo digo que por qué no hoy. Si ustedes dicen que por qué no a las cinco, yo digo que por qué no a la una”. En premio a su neutralidad recibió la medalla Enrico Fermi y 50.000 dólares (Heims, 1986: 211). Si la decisión hubiera dependido de tal neutralidad, hoy no existiría un solo ser viviente sobre la tierra. La opción por la vida es una toma de partido.

El caso citado es elocuente. La sociedad o sus gobernantes alientan y financian ciertas orientaciones de la investigación, dificultan o prohíben otras, y compran la docilidad de los investigadores integrándolos en tecnocracias regidas por la doctrina de la neutralidad ética y política. Como denuncia André Gorz, “por su misma función, la tecnocracia tiende entonces a situarse ‘por encima de las clases’”, a negar la necesidad de su lucha, a proponerse como mediadora y como árbitro y, al hacerlo, a entrar en contradicción con ellas. La famosa despolitización de las masas que pretende *comprobar* no es un hecho que ella observa: al contrario, es el objetivo que persigue, el resultado que trata de obtener —y que obtiene en medida limitadísima—. “La ‘despolitización’ es la ideología de la tecnocracia misma” (Gorz, 1996: 176).

En otras palabras: el científico y el técnico deben ser intelectuales, vale decir, utilizar el prestigio obtenido en su campo específico para emitir juicios sobre los efectos sociales de la aplicación del conocimiento y apelar a la conciencia de los pueblos, que a su vez pueden ejercer influencia sobre los gobiernos y las plutocracias. Así, Jean Paul Sartre ironiza sobre un sistema que impide a quienes fabrican bombas opinar sobre el uso de éstas. Bertrand Russell ejerce una lúcida denuncia

de la guerra de Vietnam (1967). Linus Pauling argumenta en contra de los conflictos bélicos (1961). Noam Chomsky condena los abusos de los poderes imperiales (1959).

Albert Einstein resume las dificultades de tal cometido indicando que

El capital privado tiende a quedarse concentrado en algunas manos en parte por motivo de competencia entre los capitalistas y en parte porque el desarrollo tecnológico y la división de trabajo, en aumento, estimula la formación de unidades más grandes de producción a costa de las más pequeñas. El resultado de este desarrollo es una oligarquía de capital privado cuyo poder enorme no puede ser efectivamente controlado aún por una sociedad política, democráticamente organizada (...) Sobre todo, en las condiciones existentes, los capitalistas controlan inevitablemente, directa o indirectamente, las fuentes principales de información (prensa, radio, educación). Es así extremadamente difícil, y en verdad en la mayoría de los casos imposible, para el ciudadano individual sacar conclusiones objetivas y hacer uso inteligente de sus derechos políticos (Chela, 1981: 39).

A pesar de ello, conocimiento científico, conciencia ética y compromiso social no pueden quedar separados. El físico Richard Feynman hace notar que, según una leyenda budista, a cada hombre se le da la llave que abre las puertas del cielo, pero esa misma llave abre las del infierno. Y a continuación se pregunta:

¿Qué valor tiene, pues, la llave de las puertas del cielo? Ciertamente es que si carecemos de instrucciones claras que nos permitan determinar cuál es la puerta que da al cielo y cuál al infierno, la llave puede ser un objeto peligroso de utilizar. Pero es evidente que la llave tiene un valor: jamás podremos entrar al cielo si carecemos de ella (Feynman, 1990: 282).

Quien forja la llave tiene el derecho a sugerir las instrucciones, pues es quien más cerca está de comprender el indescifrable mecanismo de las puertas del cielo y del infierno.



LA CIENCIA, FUNDAMENTOS Y MÉTODO

FUENTES CONSULTADAS

- ARAGO, Francisco (1962). *Grandes astrónomos anteriores a Newton*. Buenos Aires, Espasa-Calpe Argentina S.A.
- (1946). *Grandes astrónomos (de Newton a Laplace)*. Buenos Aires, Espasa-Calpe Argentina, S.A.
- BACON, Francis (1971). *Nueva Atlántida*. Madrid, Zero S.A.
- (1985). *La gran restauración. Aforismos sobre la interpretación de la naturaleza y el reino humano*. Madrid, Alianza Editorial.
- BACHELARD, Gastón (1969). *El materialismo racional*. Buenos Aires, Editorial Paidós.
- BARNET, Lincoln (1957). *El universo y el doctor Einstein*. México, Fondo de Cultura Económica.
- BERTALANFFY, Ludwig Von (1973). *General Sistem Theory*. Suffolk, Penguin University Books.
- (1974). *Robots, bombres y mentes*. Madrid, Ediciones Guadarrama.
- BLANCHÉ, R. (1972). *El método experimental y la filosofía de la física*, México, Fondo de Cultura Económica.
- BOORSTIN, Daniel J. (1986). *Los descubridores, II: la naturaleza y la sociedad*. Barcelona, Grijalbo Mondadori S.A.
- (1999). *Los pensadores*. Barcelona, Editorial Crítica S.L.
- BORN, Max (1960). *El inquieto universo*. Buenos Aires, Editorial Universitaria de Buenos Aires.
- BRIGGS, John y F. David Peat (1999). *Las siete leyes del caos*. Barcelona, Grijalbo Mondadori S.A.
- BRITTO GARCÍA, Luis (1997). *El imperio contracultural: del rock a la postmodernidad*. Caracas, Editorial Nueva Sociedad.

- BRITTO GARCÍA, Luis y Plinio Negrete (1974). *Ciencia, técnica y dependencia*. Caracas, Fondo Editorial Salvador de la Plaza.
- CAPLOW, Theodore (1974). *Dos contra uno: teoría de coaliciones en las tríadas*. Madrid, Alianza Editorial S.A.
- CHAITIN, Gregory (2007). *Metamaths: the Quest for Omega*. Londres, Atlantic Books.
- CHALMERS, Alan F. (1998). *¿Qué es esa cosa llamada ciencia?* México, Siglo XXI Editores.
- CHELA FLORES, Julián (comp.) (1981). *Einstein*. Caracas, Editorial Equinoccio.
- CHOMSKY, Noam (1969). *La responsabilidad de los intelectuales*. Barcelona, Ediciones Ariel.
- COHEN, Morris y Ernest Nagel (1968). *Introducción a la lógica y al método científico. I: Lógica formal. II: Lógica aplicada y método científico*. Buenos Aires, Amorrortu Editores.
- COMTE, Augusto (1980). *Curso de filosofía positiva-Discurso sobre el espíritu positivo*. Barcelona, Ediciones Orbis/Aguilar Argentina S.A. de Ediciones.
- CORTÉS MORATÓ, Jordi y Antoni Martínez Rui (1996). *Diccionario de filosofía*. Barcelona, Empresa Editorial Herder.
- CREVIER, Daniel (1997). *A la recherche de l'intelligence artificielle*. París, Flammarion.
- CURIE, Eva (1959). *La vida heroica de María Curie, descubridora del radium*. Buenos Aires, Espasa-Calpe Argentina S.A.
- D'ALEMBERT, Jean le Rond y Denis Diderot (1981). *Discurso preliminar de la Enciclopedia-Investigaciones filosóficas sobre el origen y la naturaleza de lo bello*. Barcelona, Ediciones Orbis S.A.
- DARWIN, Charles (1967). *El origen de las especies*. Barcelona, Editorial Bruguera.
- DILTHEY, Wilhelm (1990). *Teoría de las concepciones del mundo*. México, Alianza Editorial Mexicana.
- DRETSKE, Fred I. (1987). *Conocimiento e información*. Barcelona, Salvat Editores S.A.
- DYSON, Freeman (1986). *Transformando el universo*. México, Fondo de Cultura Económica.
- EINSTEIN, Albert y Leopold Infeld (1952). *La ciencia, aventura del pensamiento*. Buenos Aires, Editorial Losada S.A.
- ENGELS, Federico (1958). *Dialéctica de la naturaleza*. Santiago de Chile, Empresa Editora Austral Limitada.

- (1960). *Anti-Dühring*. Montevideo, Ediciones Pueblos Unidos.
- FERRATER MORA, José (2001). *Diccionario de filosofía*. Barcelona, Editorial Ariel S.A.
- FEYERABEND, Paul K. (1974). *Contra el método*. Barcelona, Editorial Ariel S.A.
- FEYNMAN, Richard P. (1990). *¿Qué te importa lo que piensen los demás?* Madrid, Alianza Editorial.
- GALILEO (1981). *El ensayador*. Buenos Aires, Aguilar.
- GAMOW, George y John Cleveland (1960). *Physics: Foundations and Frontiers*. Nueva Jersey, Prentice Hall Inc.
- GARDNER, Martín (1972). *Izquierda y derecha en el cosmos*. Navarra, Salvat Editores S.A.
- GLEICK, James (1988). *Chaos: Making a New Science*. Nueva York, Penguin Books.
- GOODCHILD, Peter (1986). *Oppenheimer*. Barcelona, Salvat Editores.
- GORZ, André (1996). *Estrategia obrera y neocapitalismo*. México, Ediciones Era.
- HADAMARD, Jacques (1954). *The Psychology of Invention in the Mathematical Field*. Nueva York, Dover Press.
- HALDANE, J. B. S. (1961). *La desigualdad del hombre*. Buenos Aires, Los Libros del Mirasol.
- HAWKING, Stephen (1988). *Historia del tiempo: del Big-Bang a los agujeros negros*. México, Editorial Grijalbo S.A.
- (2002). *O universo numa casca de noz*. São Paulo, Arx.
- HAYWARD, J. A. (1956). *Historia de la medicina*. México, Fondo de Cultura Económica.
- HEIMS, Steve J. (1986). *J. von Neuman y N. Wiener* (vols. 1 y 2). Barcelona, Salvat Editores.
- HEMPEL, C. G. (1973). *Filosofía de la ciencia natural*. Madrid, Alianza Editorial.
- HOBBS, Thomas (1968). *Leviathan*. Middlesex, Pelican Books.
- HOFFMANN, Banesh (1985). *Einstein*. Barcelona, Salvat Editores S.A.
- HOFSTADER, Douglas R. (1989). *Gödel, Escher, Bach: an Eternal Golden Braid*. Nueva York, Vintage Books.
- HUME, David (1994). *Investigación sobre el conocimiento humano*. Madrid, Alianza Editorial.

- JOLIOT-CURIE, Frederic (1960). *Trabajos fundamentales*. Buenos Aires, Editorial Platina.
- KOLAKOWSKI, Leszek (1967). *El racionalismo como ideología*. Barcelona, Ariel.
- KRUIF, Paul de (1959). *Los cazadores de microbios*. México, Editorial Diana S.A.
- KUHN, Thomas S. (1981). *La estructura de las revoluciones científicas*. México, Fondo de Cultura Económica.
- LABORIT, Henri (1970). *Biología y estructura*. Caracas, Editorial Tiempo Nuevo.
- LAPLACE, Pierre Simón (1947). *Breve historia de la astronomía*. Buenos Aires, Espasa-Calpe Argentina S.A.
- LENIN, Vladimir Ilich (1959). *Materialismo y empiriocriticismo*. Montevideo, Ediciones Pueblos Unidos.
- LEONARD, Jonathan Norton (1943). *Los cruzados de la química*. Buenos Aires, Editorial Losada S.A.
- LISCANO, Juan (1995). *Nuevas tecnologías y capitalismo salvaje*. Caracas, Fondo Editorial Venezolano.
- MALTHUS, Thomas Robert (1966). *Primer ensayo sobre la población*. Madrid, Alianza Editorial S.A.
- MARDONES, J. M. (1991). *Filosofía de las ciencias humanas y sociales*. Barcelona, Editorial Anthropos.
- MARX, Karl (1949). *El capital*. Buenos Aires, Editorial Biblioteca Nueva.
- MARX, Karl y Federico Engels (1959). *La ideología alemana*. Montevideo, Ediciones Pueblos Unidos.
- (1960). *El manifiesto comunista*. Moscú, Academia de Ciencias de la URSS.
- MILL, John Stuart (1882). *A System of Logic, Ratiocinative and Inductive, Being a Connected View of the Principles of Evidence, and the Methods of Scientific Investigation*. Nueva York, Harper&Brother Publishers.
- MONTESQUIEU (1964). *Oeuvres Completes*. París: Aux Editions du Seuil.
- MORÍN, Edgar (1974). *L'unité de l'homme: 2. Le cerveau humain*. París, Éditions du Seuil.
- (1977). *La méthode I. La Nature de la Nature*. París, Éditions du Seuil.
- (1978). *El paradigma perdido: el paraíso olvidado*. Barcelona, Kairos.
- (1999). *La cabeza bien puesta: repensar la reforma, reformar el pensamiento*. Buenos Aires, Ediciones Nueva Visión.

- NAVARRO, Joaquín (1973). *La nueva matemática*. Barcelona, Salvat Editores S.A.
- NILSSON, Nils J. (2001). *Inteligencia artificial: una nueva síntesis*. Madrid, McGraw Hill.
- PAULING, Linus (1961). *¡Basta de guerras!* Buenos Aires, Editorial Palestra.
- (1973). *Orthomolecular Psychiatry*. San Francisco, Freeman Books.
- PAVLOV, I. P. (1966). *Essential Works of Pavlov*. Nueva York, Bantam Books.
- PENROSE, Roger (1991). *La nueva mente del emperador*. Barcelona, Grijalbo-Mondadori.
- PIAGET, Jean, y otros (1935). *Manual de psicología del niño*. Barcelona, Seix Editor.
- POPPER, Karl (1974). *Conjectures and Refutations: the Growth of Scientific Knowledge*. Londres, Routledge and Kegan Paul.
- POSTLE, Denis (1980). *Catastrophe Theory*. Glasgow, Williams Collins & Son Co. Ltd.
- PUCCIARELLI, Eugenio y Francisco Romero (1939). *Lógica*. Buenos Aires, Espasa-Calpe Argentina S.A.
- REICHEN, Charles Albert (1963). *Histoire de l'astronomie*. Suiza, Editions Rencontre.
- RICARDO, David (1971). *Principles of Political Economy and Taxation*. Middlesex, Penguin Books.
- RUSSELL, Bertrand (1962a). *Introducción a la filosofía matemática*, en *Obras escogidas*. Madrid, Aguilar S.A. de Ediciones.
- (1962b). *El impacto de la ciencia en la sociedad*, en *Obras escogidas*. Madrid, Aguilar S.A. de Ediciones.
- (1964). *Human Knowledge: Its Scope and Limits*. Nueva York, Simon and Schuster.
- (1967). *Crímenes de guerra en Vietnam*. Madrid, Editorial Aguilar.
- SAUSSURE, Ferdinand de (1980). *Curso de lingüística general*. Buenos Aires, Editorial Losada.
- SEIJAS Z., Félix L. (1981). *Investigación por muestreo*. Caracas, Facultad de Ciencias Económicas y Sociales de la Universidad Central de Venezuela.
- SHALLIS, Michael (1986). *El ídolo de silicio*. Barcelona, Salvat Editores S.A.
- SKINNER, B. F. (1972). *Más allá de la libertad y la dignidad*. Barcelona, Editorial Fontanella.
- SMITH, Adam (1957). *La riqueza de las naciones*. Madrid, Editorial Aguilar.

- SULLIVAN, Walter (1980). *Black Holes: the Edge of Space, the End of Time*. Nueva York, Warner Books.
- THOM, René (1975). *Structural Stability and Morphogenesis (an Outline of a General Theory of Models)*. Massachusetts, The Benjamin Cummings Publishing Company, Inc.
- THORNE, Kip S. (1995). *Agujeros negros y tiempo curvo; el escandaloso legado de Einstein*. Barcelona, Grijalbo Mondadori.
- TITCHMARSH, E. C. (1956). *Esquema de la matemática actual*. México, Fondo de Cultura Económica.
- TURING, A.M. (1950). "Computing machinery and intelligence". *Mind, a Quarterly Review or Psychology and Philosophy*, vol. LIX, n° 236, Oxford, Octubre.
- VERA, FRANCISCO (1961). *20 matemáticos célebres*. Buenos Aires, Los Libros del Mirasol.
- VERNON, P. y otros (1970). *Creativity*. Londres, Penguin Books.
- VINCI, Leonardo da (1952). *Scritti letterari*. Milán, Rizzoli Editore.
- (1958). *Tratado de la pintura*. Madrid, Aguilar S.A. de Ediciones.
- WATSON, James D. (1969). *The Double Helix*. Nueva York, Signet Books.
- WEINBERG, Steven (1978). *Los tres primeros minutos del universo*. Madrid, Alianza Editorial S.A.
- WIENER, Norbert (1960). *Cibernética. Tiempo al tiempo*. Madrid, Guadiana de Publicaciones.
- (1967). *Dios y Golem S.A.* México, Siglo XXI Editores S.A.
- (1968). *The Human Use of Human Beings*. Suffolk, Sphere Library.
- WHITE, D. J. (1972). *Teoría de la decisión*. Madrid, Alianza Editorial S.A.
- WILSON, Edward O. (1976). *Sociobiology, the New Synthesis*. Harvard, The Belknap Press of Harvard University Press.
- WITTGENSTEIN, Ludwig (1972). *Sobre la certidumbre*. Buenos Aires, Editorial Tiempo Nuevo S.A.
- (1981). *Matemáticas sin metafísica*. Caracas, Ediciones de la Biblioteca de la Universidad Central de Venezuela.

DIRECTORIO

NICOLÁS MADURO MOROS
Presidente de la República Bolivariana de Venezuela

JORGE ARREAZA
Vicepresidente de la República Bolivariana de Venezuela

JEHYSON JOSÉ GUZMÁN ARAQUE
Ministro del Poder Popular para la Educación Universitaria

LÍDICE ALTUVE
Viceministra de Planificación Estratégica

ANA ALEJANDRINA REYES PÁEZ
Viceministra para Planificación y Desarrollo Académico

ANDRÉS ELOY RUIZ
Viceministro de Articulación
con las Instituciones de Educación Universitaria

UNIVERSIDAD BOLIVARIANA DE VENEZUELA

MARYANN HANSON
Rectora

LUIS BIGOTT
Vicerrector

JOSÉ BERRÍOS
Secretario General

SERGIO GARCÍA
Vicerrector Territorial



DIRECCIÓN GENERAL DE PROMOCIÓN Y DIVULGACIÓN DE SABERES

Director General
JOSÉ GREGORIO LINARES

Coordinadora Editorial
TIBISAY RODRÍGUEZ

Supervisor de Producción Creativa
LÚIS LIMA HERNÁNDEZ

Supervisor del Taller de Impresos
RAFAEL ACEVEDO

Asistente Administrativa
MERCEDES BITRIAGO

Diseño y Diagramación
ARIADNNY ALVARADO / EDGAR SAYAGO

Técnico en Recursos Informáticos
NUBIA ANDRADE

Asistente de Organización Cultural
KARLY REQUENA

Facilitador en Asuntos Literarios
ALEXIS RAMOS

Fotolito
FREDDY QUIJADA

Impresión
HERNÁN ECHENIQUE / CÉSAR VILLEGAS
IVÁN ZAPATA / RICHARD ARMAS

Guillotina
ALCIDES GONZÁLEZ

Doblador
ROTGÉN ACEVEDO

Encuadernación
ODALIS VILLARROEL / ANA SEGOVIA / CARMEN ARAGORT / REINA AGUIAR

Distribución
YURI LUKSIC

Promoción de Lectura
HENRY OCHOA



La ciencia, fundamentos y método
de Luis Britto García se terminó de
imprimir en los talleres de la Universidad
Bolivariana de Venezuela durante el mes
de agosto de 2014.

Son 2.000 ejemplares.

CARACAS, REPÚBLICA BOLIVARIANA
DE VENEZUELA.



EDICIONES DE LA UNIVERSIDAD BOLIVARIANA DE VENEZUELA
