

EL PUNTO CRUCIAL FRITJOF CAPRA

II

LOS DOS PARADIGMAS

2. La Máquina Del Mundo Newtoniano

Traducido por Gustavo E. Sánchez A, profesor, Departamento de humanidades,
Universidad Javeriana

La visión del mundo y del sistema de valores que subyacen en la base de nuestra cultura y que deben reexaminarse cuidadosamente se formuló en su esquema esencial en los siglos dieciséis y diecisiete., Entre 1500 y 1700 hubo un cambio dramático en la forma en que la gente dibujaba el mundo y en la forma global de pensar. La nueva mentalidad y la nueva percepción del cosmos dieron a la civilización occidental los aspectos que son característicos de la era moderna. Se convirtieron en la base del paradigma que ha dominado nuestra cultura durante los últimos trescientos años y ahora esta a punto de cambiar.

Antes de 1500 la visión del mundo dominante en Europa, tanto como en la mayoría de las otras civilizaciones, era orgánica. La gente vivía en comunidades pequeñas unidas y experimentaban la naturaleza en términos de relaciones orgánicas, caracterizados por la interdependencia de fenómenos espirituales y materiales y la subordinación de las necesidades individuales a aquellas de la comunidad. El marco científico de esta visión orgánica del mundo se basaba en dos autoridades: Aristóteles y la Iglesia. En el siglo trece Tomás de Aquino combinó el completo sistema de Aristóteles de la naturaleza con la teología y ética Cristianas y, al hacerlo, estableció el marco conceptual que permaneció inmodificado a través de la Edad Media. La naturaleza de la ciencia medieval era muy diferente de la ciencia contemporánea. Se basaba tanto en la razón como en la fe y su objetivo principal era entender el significado y alcance de las cosas, más que su predicción y control. Los científicos medievales, buscando el propósito escondido en varios fenómenos naturales consideraron preguntas relacionadas a Dios, el alma humana y éticas como de la mayor importancia.

La visión medieval cambió radicalmente en los siglos dieciséis y diecisiete. La noción de un universo orgánico, viviente y espiritual, fue reemplazada por la de un mundo como una máquina, y el mundo-máquina llegó a ser la metáfora dominante de la era moderna. Este desarrollo se produjo por cambios revolucionarios en física y astronomía, que culminaron con los logros de Copérnico, Galileo y Newton. La ciencia del siglo diecisiete se basó en un nuevo método de búsqueda, propugnado fuertemente por Francis Bacon que encerraba una descripción matemática de la naturaleza y el método analítico de razonamiento concebido por el genio de Descartes. Reconociendo el papel crucial de la ciencia en producir estos

cambios de largo alcance, los historiadores han llamado a los siglos dieciséis y diecisiete la Edad de la Revolución Científica.

La revolución Científica comenzó con Nicolás Copérnico, quien reemplazó la visión geocéntrica de Ptolomeo y la Biblia, que había sido el dogma aceptado por mas de mil años. Después de Copérnico la tierra no era ya el centro del universo sino solamente uno de los muchos planetas que circulan alrededor de una estrella menor en el extremo de la galaxia, y el hombre perdió su orgullosa posición como la figura central de la creación de Dios. Copérnico estaba consciente de que su visión ofendería profundamente la consciencia religiosa de su tiempo; demoró su publicación hasta 1543, el año de su muerte, y aún entonces presentó su visión heliocéntrica como una mera hipótesis.

Copérnico fue seguido por Johannes Kepler, un científico y místico que buscaba la armonía de las esferas y fue capaz de, a través de trabajo tesonero con tablas astronómicas, formular sus celebradas leyes empíricas del movimiento planetario, que dieron soporte al sistema copernicano. Pero el cambio real en la opinión científica lo produjo Galileo Galilei, quien ya era famoso por descubrir las leyes de la caída de los cuerpos cuando centró su atención en la astronomía. Dirigiendo el recién inventado telescopio a los cielos y aplicando su extraordinario don para la observación científica a los fenómenos celestes, Galileo fue capaz de desacreditar la vieja cosmología mas allá de toda duda y establecer la hipótesis copernicana como una teoría científica válida.

El papel de Galileo en la Revolución Científica va más allá de sus logros en astronomía aunque estos son los más ampliamente conocidos debido a su enfrentamiento con la iglesia. Galileo fue el primero en cambiar la investigación científica con el uso del lenguaje matemático para formular las leyes naturales que descubrió, y por esto se le considera el padre de la ciencia moderna. “Filosofía”, creía, “se escribe en el gran libro abierto siempre ante nuestros ojos, pero que no podemos entender sino aprendemos primero el lenguaje y caracteres en que está escrito. Este lenguaje es la matemática, y los caracteres son triángulos, círculos y otra figuras geométricas.”¹ Los dos aspectos del trabajo pionero de Galileo -su enfoque empírico y su uso de una descripción matemática de la naturaleza- se convirtieron en los aspectos dominantes de la ciencia en el siglo diecisiete y permanecen como criterios importantes de las teorías científicas hasta hoy en día.

Para que sea posible que los científicos describan la naturaleza matemáticamente, Galileo postuló que debían restringirse a estudiar las propiedades esenciales de los cuerpos materiales -formas, números y movimientos- que pueden medirse y cuantificarse. Otras propiedades, como color, sonido, gusto u olor, eran meras proyecciones mentales subjetivas que debían excluirse del dominio de la ciencia.² La estrategia de Galileo de dirigir la atención del científico a las propiedades cuantificables de la materia ha probado ser en extremo exitosa en la ciencia moderna, pero también ha exigido un alto precio, como el siquiatra R. D. Laing enfáticamente nos recuerda: “Quedan por fuera, vista, sonido, gusto, tacto y olor y junto con ellos se van la estética, la sensibilidad ética, valores, cualidad, forma; todos los sentimientos, motivos, intenciones, alma, conciencia, espíritu. La experiencia como tal, queda desterrada del campo del discurso científico.”³ De acuerdo a

Laing nada ha cambiado más nuestro mundo durante los últimos cuatrocientos años que la obsesión de los científicos con la medida y la cuantificación.

Mientras Galileo diseñaba experimentos en Italia, Francis Bacon expuso el método empírico de la ciencia explícitamente en Inglaterra. Bacon fue el primero en formular una clara teoría del proceso inductivo -hacer experimentos y derivar conclusiones generales de ellos que se confirmen con posteriores experimentos- y llegó a ser extremadamente influyente al impulsar con fervor el nuevo método. Atacó sin ambages las escuelas tradicionales de pensamiento y desarrolló una verdadera pasión por la experimentación científica.

El “espíritu de Bacon” cambió profundamente la naturaleza y el propósito de la búsqueda científica. Desde el tiempo de los antiguos los objetos de la ciencia habían sido sabiduría, entendimiento del orden natural y vivir en armonía con él. La ciencia se hacía “para la gloria de Dios”, o, como dijeron los Chinos, para “seguir el orden natural” y “fluir en la corriente del Tao”.⁴ Estos eran yin o propósitos integradores; la actitud básica del científico era ecológica, como diríamos en el lenguaje de hoy. En el siglo diecisiete, esta actitud cambió a su opuesto polar; de yin a yang, de integración a individualización. Desde Bacon, el objeto de la ciencia ha sido el conocimiento que pueda usarse para dominar y controlar a la naturaleza, y hoy en día tanto ciencia como tecnología se usan predominantemente para propósitos que son profundamente antiecológicos.

Los términos con los que Bacon promovió su nuevo método empírico de investigación no eran sólo apasionados sino con frecuencia abiertamente malignos. La naturaleza, desde su punto de vista, debía ser “cazada en sus andanzas”, “encadenada a servir” y hecha una “esclava”, debía ser “puesta en cadenas”, y el propósito del científico era “extraerle los secretos de la naturaleza torturándola”.⁵ Muchas de estas imágenes violentas parecen haberse inspirado en los juicios de brujas que eran frecuentes en tiempos de Bacon. Como fiscal general del Rey Jacobo I, Bacon estaba íntimamente familiarizado con tales procesos, y ya que la naturaleza se veía como femenina, no es sorprendente que trasladara las metáforas usadas en la Corte, a sus escritos científicos. Por cierto, su visión de la naturaleza como femenina cuyos secretos debían extraerse por tortura con la ayuda de instrumentos mecánicos sugiere con fuerza el uso extendido de la tortura de mujeres en los juicios de brujas en los comienzos del siglo diecisiete.⁶ El trabajo de Bacon representa por tanto un ejemplo sobresaliente de la influencia de las actitudes patriarcales en el pensamiento científico.

El concepto antiguo de la tierra como madre nutriente se transformó radicalmente en los escritos de Bacon, y desapareció completamente a medida que procedía la Revolución Científica a reemplazar la visión orgánica de la naturaleza con la metáfora del mundo como una máquina. Este cambio, que iba a llegar a ser de una importancia arrolladora en el futuro desarrollo de la civilización occidental, iba a iniciarse y a completarse por dos figuras predominantes del siglo diecisiete: Descartes y Newton.

Se considera a René Descartes como el fundador de la filosofía moderna. Fue un brillante matemático y su perspectiva filosófica se vio profundamente afectada por la nueva física y la astronomía. No aceptó ningún conocimiento tradicional, sino que se propuso construir todo un nuevo sistema de pensamiento. De acuerdo a Bertran Russell “Esto no ocurría desde Aristóteles, y es signo de la nueva auto-confianza que resultó del progreso de la ciencia. Hay una frescura en su trabajo que no se encuentra en ningún filósofo eminente anterior desde Platón”.⁷

A la edad de veintitrés años, Descartes experimentó una visión iluminadora que iba a moldear su vida entera.⁸ Después de varias horas de intensa concentración durante las cuales revisó sistemáticamente todo el conocimiento que había acumulado, percibió, en un repentino chispazo de intuición los “fundamentos de una ciencia maravillosa” que prometía la unificación de todo conocimiento. Esta intuición había sido esbozada en una carta a un amigo en la cual Descartes anunció su ambicioso propósito: “Y así para no ocultarle nada a usted acerca de la naturaleza de mi trabajo me gustaría darle al público... una ciencia completamente nueva que resolvería en general todas las cuestiones de cantidad continua o discontinua”.⁹ En su visión Descartes percibió como podría realizar su plan. Vio un método que le permitiría construir una ciencia completa de la naturaleza de la cual podría tener absoluta certeza; una ciencia basada como las matemáticas en primeros principios auto-evidentes. Descartes se sintió anonadado por esta revelación. Pensó que había logrado el descubrimiento supremo de su vida y no dudó de que su visión viniera de inspiración divina. Esta convicción se reforzó por un sueño extraordinario la noche siguiente en el que la nueva ciencia se le presentaba en forma simbólica. Descartes ahora estaba convencido de que Dios le había mostrado su misión, y se dedicó a construir una nueva filosofía científica.

La visión de Descartes había implantado en él la firme creencia en la certeza del conocimiento científico, y su vocación en su vida era distinguir la verdad del error en todos los campos del conocimiento. “Toda la ciencia es cierta, el conocimiento evidente”, escribió. “Rechazamos todo conocimiento que sea meramente probable y juzgamos que solamente deben creerse aquellas cosas que sean perfectamente conocidas y de las que no pueda haber dudas”.¹⁰

La creencia en la certeza del conocimiento científico está en la base misma de la filosofía cartesiana y de la visión del mundo que de ahí se deriva, y fue aquí, desde el principio, que Descartes se equivocó. La física del siglo veinte nos ha demostrado muy enfáticamente que no hay verdad absoluta en ciencia, y que todos nuestros conceptos y teorías son limitados y aproximados. La creencia cartesiana en la verdad científica está difundida aún hoy y se refleja en el científicismo que ha llegado a ser típica de nuestra cultura occidental. Mucha gente en nuestra sociedad, tanto científicos como no científicos están convencidos que el método científico es la única manera válida de entender el universo. El método de pensamiento de Descartes y su visión de la naturaleza han influenciado todas las ramas de la ciencia moderna y pueden ser aún útiles hoy pero sólo será útil si se reconocen sus limitaciones. El aceptar la visión cartesiana como verdad absoluta y el método de Descartes como la única forma válida del conocimiento ha jugado un papel importante en producir el desbalance cultural actual.

La certeza cartesiana es matemática en su naturaleza esencial. Descartes creyó que la llave al universo era su estructura matemática y en su mente ciencia era sinónimo de matemáticas. Así él escribió, respecto a las propiedades de los objetos físicos, “No admito nada como verdad que no sea deducida, con la claridad de una demostración matemática, a partir de nociones comunes cuya verdad no podamos dudar. Ya que todos los fenómenos de la naturaleza pueden explicarse en esta forma, pienso que no deben admitirse otros principios de física, ni son deseables”.¹¹

Como Galileo, Descartes creyó que el lenguaje de la naturaleza, -“ese gran libro siempre abierto ante nuestros ojos”- era la matemática, y su deseo de describir la naturaleza en términos matemáticos le condujo a su más celebre descubrimiento. Al aplicar relaciones numéricas a las figuras geométricas, fue capaz de relacionar el álgebra y la geometría y, al hacerlo, creó una nueva rama de la matemáticas, ahora conocida como geometría analítica. Esta incluía la representación de curvas por ecuaciones algebraicas, cuyas soluciones estudió en forma sistemática. Su nuevo método permitió a Descartes aplicar un tipo muy general de análisis matemático al estudio de cuerpos en movimiento, de acuerdo con su gran esquema de reducir todos los fenómenos físicos a relaciones matemáticas exactas. Así pudo decir, con gran orgullo, “Mi física entera no es más que geometría”.¹²

El genio de Descartes era el de un matemático, y esto es claro también en su filosofía. Para llevar a cabo su plan de construir una ciencia natural completa y exacta, desarrolló un nuevo método de razonamiento, que presentó en su más famoso libro *Discurso del Método*. Aunque su texto se convirtió en uno de los grandes clásicos filosóficos, su propósito original no era enseñar filosofía sino servir como una introducción a la ciencia. El método de Descartes para alcanzar la verdad científica como se evidencia en el título completo del libro, *Discurso del Método para Conducir Correctamente la Propia Razón y Buscar la Verdad en las Ciencias*”

La clave del método de Descartes es la duda radical. Duda de todo lo que se las ingenia para dudar -todo el conocimiento tradicional, las impresiones de sus sentidos y aún del hecho de que tiene un cuerpo- hasta que alcanza una cosa de la que no puede dudar, la existencia de sí mismo como pensador. Así llega a su celebrada frase “*Cogito ergo sum*”. “Pienso, luego existo”. De esto deduce Descartes que la esencia de la naturaleza humana está en el pensamiento, y que todas las cosas que concebimos clara y distintamente son verdades. Esta concepción clara y diferenciada- “la concepción de la mente pura y atenta”¹³ -la llama “intuición”, y afirma que “no hay camino al conocimiento cierto de la verdad abierto al hombre excepto la intuición evidente y la deducción necesaria”.¹⁴ El conocimiento cierto, entonces, se logra a través de la intuición y la deducción, y éstas son las herramientas que Descartes usa en su intento de reconstruir el edificio del conocimiento sobre cimientos firmes.

El método de Descartes es analítico. Consiste en romper pensamientos y problemas en piezas y arreglar éstas en su orden lógico. Este método analítico de razonamiento es probablemente la mayor contribución de Descartes a la ciencia. Se ha convertido en

característica esencial del pensamiento científico moderno y ha resultado extremadamente útil en el desarrollo de teorías científicas y en la realización de proyectos tecnológicos complejos. Fue el método de Descartes que hizo posible que la NASA pusiera al hombre en la luna. Por otra parte, el énfasis en el método cartesiano ha conducido a la fragmentación que es característica tanto de nuestra forma general de pensar y de nuestras disciplinas académicas, como de la actitud común reduccionista en ciencia - la creencia de que todos los aspectos de los fenómenos complejos pueden entenderse reduciéndolos a sus partes constituyentes.

El *cogito* de Descartes, como se le ha llamado, le hizo ver la mente más cierta que la materia y le condujo a la conclusión de que las dos estaban separadas y eran fundamentalmente diferentes. Así, aseveró que, “no hay nada incluido en el concepto de cuerpo que pertenezca a la mente; y nada en el de la mente que pertenezca al cuerpo”.¹⁵ La división cartesiana entre mente y materia ha tenido un efecto profundo en el pensamiento occidental. Nos ha enseñado a ser conscientes de nosotros mismos como egos aislados que existen “dentro” de nuestros cuerpos; nos ha llevado a darle mayor valor al trabajo mental que al manual; le ha hecho posible a las grandes industrias vender productos - especialmente a mujeres- que nos harían dueños del “cuerpo ideal”; ha impedido que los doctores consideren con seriedad las dimensiones psicológicas de la enfermedad, y que los sicoterapistas traten los cuerpos de sus pacientes. En las ciencias de la vida la división cartesiana ha llevado a una confusión sin fin sobre la relación entre mente y cerebro, y en física ha hecho extremadamente difícil, a los padres de la teoría cuántica interpretar sus observaciones de los fenómenos atómicos. De acuerdo a Heisenberg, quien batalló con el problema por muchos años, “Esta partición ha penetrado profundamente en la mente humana durante las tres centurias posteriores a Descartes y tomará largo tiempo para reemplazarla por una actitud realmente diferente frente al problema de la realidad”.¹⁶

Descartes basó su visión total de la naturaleza sobre esta división fundamental entre dos campos independientes y separados; el de la mente o *res cogitans*, la “cosa pensante”, y el de la materia, o *res extensa*, la “cosa extendida”. Ambas, mente y materia, fueron creadas por Dios, quien representa su punto común de referencia, siendo la fuente del orden natural exacto y de la luz de la razón que permite a la mente humana reconocer este orden. Para Descartes, la existencia de Dios era esencial en la filosofía científica, pero en las centurias subsiguientes los científicos omitieron toda referencia explícita de Dios y desarrollaron sus teorías de acuerdo a la división cartesiana, las humanidades concentrándose sobre la *res cogitans* y las ciencias naturales sobre la *res extensa*.

Para Descartes el universo material era una máquina y nada más que una máquina. No había propósito, vida o espiritualidad en la materia, la naturaleza funcionaba de acuerdo a leyes mecánicas, y cualquier cosa en el mundo material, podría explicarse en términos del arreglo y movimiento de sus partes. Esta descripción mecánica de la naturaleza se convirtió en el paradigma dominante de la ciencia en el periodo posterior a Descartes. Guió toda la observación científica y la formulación de todas las teorías de los fenómenos naturales hasta cuando la física del siglo veinte produjo un cambio radical. La elaboración total de la ciencia mecanística de los siglos diecisiete, dieciocho, incluyendo la gran síntesis de

Newton, fue el desarrollo de la idea cartesiana. Descartes dio al pensamiento científico su marco general -la visión de la naturaleza como una máquina perfecta, gobernada por leyes matemáticas exactas.

El drástico cambio en la imagen de la naturaleza de organismo a máquina, tuvo un fuerte efecto en la actitud de la gente hacia el entorno natural. La visión orgánica del mundo de la Edad Media había implicado un sistema de valores conducentes a un comportamiento ecológico. En palabras de Carolyn Merchant:

La imagen de la tierra como un organismo vivo, madre nutriente, sirvió como un freno cultural que restringió las acciones de los seres humanos. Uno no está dispuesto a matar a la madre, ni a cavar en sus entrañas en busca de oro, o mutilar su cuerpo... Mientras la tierra se considerara viva y sensible se consideraría una falla del comportamiento ético humano realizar actos destructivos contra ella.¹⁷

Estos frenos culturales desaparecieron con la mecanización de la ciencia. La visión cartesiana del universo como sistema mecánico proveyó un permiso “científico” para la manipulación y explotación de la naturaleza, que se ha hecho típica de la cultura occidental. De hecho, el mismo Descartes compartió la visión de Bacon de que el propósito de la ciencia era el dominio y control de la naturaleza, afirmando que el conocimiento científico podría usarse para “convertirnos en dueños y poseedores de la naturaleza”.¹⁸

En su intento de construir una ciencia natural completa, Descartes extendió su visión mecanicista de la materia a los organismos vivos. Plantas y animales se consideraron simples máquinas; los seres humanos estaban habitados por un alma racional que se conectaba con el cuerpo a través de la glándula pineal en el centro del cerebro. En cuanto se refiere al cuerpo humano, era indistinguible de un animal-máquina. Descartes explicó con lujo de detalles como los movimientos y las diferentes funciones biológicas del cuerpo podían reducirse a operaciones mecánicas, para mostrar que los organismos vivos no eran más que autómatas. Al hacerlo estuvo fuertemente influenciado por el pensamiento barroco del siglo diecisiete, con las máquinas artísticas “casi vivas” que deleitaban a la gente con la magia de sus movimientos aparentemente espontáneos. Como la mayoría de sus contemporáneos, Descartes se fascinó con estos autómatas e incluso construyó unos pocos él mismo. Inevitablemente, comparó su funcionamiento con el de los organismos vivos: “Vemos relojes, fuentes artificiales, molinos y otras máquinas similares que, aunque hechas por el hombre, tienen sin embargo el poder de moverse en formas diferentes... No reconozco ninguna diferencia entre las máquinas hechas por artesanos y los diferentes cuerpos que solo la naturaleza compone”.¹⁹

La relojería en particular había alcanzado un alto grado de perfección en tiempos de Descartes, y el reloj era por tanto un modelo privilegiado para otras máquinas automáticas. Descartes comparó los animales a un “reloj... compuesto...de ruedas y resortes”, y extendió su comparación al cuerpo humano “Considero al cuerpo humano como una máquina ... Mi

pensamiento ... compara un hombre enfermo y un reloj mal hecho con la idea de un hombre sano y un reloj bien hecho”.²⁰

La visión de Descartes de los organismos vivos tuvo una influencia decisiva en el desarrollo de las ciencias de la vida. La descripción cuidadosa de los mecanismos que constituyen los organismos vivos ha sido la tarea principal de biólogos, médicos, y psicólogos en los últimos trescientos años. El enfoque cartesiano ha sido muy exitoso especialmente en biología, pero también ha limitado las direcciones de la investigación científica. El problema radica en que los científicos, animados a tratar los organismos vivos como máquinas, tienden a creer que son *nada más que* máquinas. Las consecuencias adversas de este engaño reduccionista han llegado a ser especialmente claros en medicina donde, la adherencia al modelo cartesiano del cuerpo humano como un mecanismo de reloj, ha impedido a los médicos entender muchas de las principales enfermedades de hoy en día. Esta, entonces, fue la “ciencia maravillosa” de Descartes. Usando su método de pensamiento analítico intentó dar una descripción precisa de todos los fenómenos naturales en un sólo sistema de principios mecánicos. Su ciencia debía ser completa, y el conocimiento que diera debía proveer certeza matemática absoluta. Descartes, por supuesto, no fue capaz de llevar a cabo su ambicioso plan, y él mismo reconoció que su ciencia era incompleta. Pero su método de razonamiento y el delineamiento general de la teoría de fenómenos naturales que propuso han formado el pensamiento científico occidental por tres centurias.

Hoy, aunque las severas limitaciones de la visión cartesiana del mundo se han clarificado en todas las ciencias el método general de Descartes de enfocar los problemas intelectuales y su claridad de pensamiento permanecen inmensamente válidas. Tengo un recuerdo vívido de esto después de una conferencia sobre física moderna en la que enfatiqué las limitaciones de la visión mecanística del mundo en teoría cuántica y la necesidad de superar esa visión en otros campos, cuando una francesa me felicitó por mi “claridad cartesiana”. Como escribió Montesquieu en el siglo dieciocho, “Descartes enseñó a descubrir los errores de él a los que vinieron después de él”.²¹

...

Descartes creó el marco conceptual de la ciencia del siglo diecisiete, pero su visión de la naturaleza como una máquina perfecta gobernada por leyes matemáticas exactas, tenía que permanecer como un anhelo durante su vida. No podía hacer más que esbozar los lineamientos de su teoría de los fenómenos naturales. El hombre que hizo realidad el sueño cartesiano y completó la Revolución Científica fue Isaac Newton, nacido en Inglaterra en 1642, el año de la muerte de Galileo. Newton desarrolló una formulación matemática completa de la visión mecanística de la naturaleza, y así logró la gran síntesis de los trabajos de Copérnico y Kepler, Bacon, Galileo y Descartes. La física newtoniana, el logro supremo de la ciencia del siglo diecisiete, proveyó una teoría matemática consistente del mundo, que permaneció como sólido fundamento del pensamiento científico hasta bien entrado el siglo veinte. El dominio de Newton sobre las matemáticas era más poderoso que el de sus contemporáneos. Inventó un método completamente nuevo conocido hoy como

cálculo diferencial, para describir el movimiento de cuerpos sólidos; método que fue mucho más allá de las técnicas matemáticas de Galileo y Descartes. Este tremendo logro intelectual fue elogiado por Einstein como “Quizá el más grande avance en el pensamiento que un solo individuo haya tenido el privilegio de hacer jamás”.²²

Kepler había derivado las leyes empíricas del movimiento planetario estudiando tablas astronómicas, y Galileo había llevado a cabo ingeniosos experimentos para descubrir las leyes de cuerpos en caída libre. Newton combinó estos dos descubrimientos para formular las leyes generales de movimiento que gobiernan todos los objetos en el sistema solar, desde piedras a planetas.

De acuerdo a la leyenda, la intuición decisiva le ocurrió a Newton en una repentina chispa de inspiración cuando vio caer una manzana de un árbol. Se dio cuenta que la manzana era atraída hacia la tierra por la misma fuerza que atrae a los planetas hacia el sol, y así encontró la llave a su grandiosa síntesis. Usó entonces su nuevo método matemático para formular las leyes exactas de movimiento para todo cuerpo bajo la influencia de la fuerza de la gravedad. La importancia de estas leyes radica en su aplicación universal. Se encontró que eran válidas en todo el sistema solar y por tanto parecían confirmar la visión cartesiana de la naturaleza. El universo newtoniano era, sin duda, un enorme sistema mecánico, que operaba de acuerdo a leyes matemáticas exactas.

Newton presentó su teoría del mundo en gran detalle en su *Principios Matemáticos de Filosofía Natural*. Los *Principia*, como el libro usualmente se abrevia del título original en latín, comprende un completo sistema de definiciones, proposiciones y pruebas que los científicos consideraron como la descripción correcta de la naturaleza por más de doscientos años. Contiene también una discusión explícita del método experimental de Newton, que él vio como un procedimiento sistemático en el cual se basa la descripción matemática, en cada paso en la evaluación crítica de la evidencia experimental.

Lo que no se deduzca de los fenómenos debe llamarse una hipótesis, e hipótesis sea metafísica o física, sea cualidades ocultas o mecánicas, no tiene lugar en filosofía experimental. En esta filosofía, proposiciones particulares se infieren de los fenómenos, y después se generalizan por inducción.²³

Antes de Newton existían dos tendencias opuestas en la ciencia del siglo diecisiete; el método inductivo, empírico, representado por Bacon y el método deductivo, racional, representado por Descartes. Newton, en sus *Principia*, introdujo la mezcla apropiada de ambos métodos, enfatizando que ni los experimentos sin interpretación sistemática ni la deducción desde primeros principios sin evidencia experimental conducirán a una teoría confiable. Yendo las allá de Bacon en su experimentación sistemática y mas allá de Descartes en su análisis matemático, Newton unificó las dos tendencias y desarrolló la metodología sobre la que se ha basado la ciencia natural desde entonces.

Quizá Newton fue una personalidad mucho más compleja que la que uno pensaría al leer sus escritos científicos. Sobresalió no sólo como científico y matemático, sino también, en varias etapas de su vida, como abogado, historiador y teólogo, y estaba íntimamente involucrado en investigación sobre conocimiento oculto y esotérico. Miraba al mundo como una adivinanza y creía que sus respuestas podrían encontrarse no solo a través de experimentos científicos sino también en las revelaciones crípticas de tradiciones esotéricas. Newton se sentía tentado a pensar, como Descartes, que su poderosa mente podría develar todo los secretos del universo, y la enfocó con igual intensidad al estudio de la ciencia natural y esotérica. Mienta trabajaba en el Trinity College de Cambridge, sobre los *Principia*, acumuló, durante esos mismos años, voluminosas notas sobre alquimia, textos apocalípticos, teorías teológicas no ortodoxas y varios temas ocultos. La mayoría de estos escritos esotéricos nunca se han publicado, pero lo que se conocen de ellos indican que Newton, el gran genio de la Revolución Científica, era al mismo tiempo el “último de los magos”.²⁴

El escenario del universo newtoniano, en el que ocurren todos los fenómenos físicos era el espacio tridimensional de la geometría euclidiana clásica. Era un espacio absoluto, un recipiente vacío independiente de los fenómenos físicos que ocurrían en él. En las propias palabras de Newton, “El espacio absoluto, por su propia naturaleza, sin tener en cuenta nada externo, permanece siempre similar e inmóvil”.²⁵ Todos los cambios en el mundo físico se describían en términos de dimensiones separadas, tiempo, que de nuevo era absoluto, sin conexión alguna con el mundo natural, y fluyendo suavemente del pasado a través del presente al futuro. “El tiempo matemático, absoluto y verdadero”, escribió Newton, “en si mismo y por su propia naturaleza, fluye uniformemente, sin tener en cuenta algo externo”.²⁶

Los elementos del mundo newtoniano que se movían en este espacio absoluto y tiempo absoluto eran partículas materiales; pequeños objetos sólidos e indestructibles, de los que toda la materia estaba hecha. El modelo newtoniano de materia era atomístico, pero difería de la noción moderna de átomos en que las partículas newtonianas eran hechas de la misma sustancia material. Newton asumió que la materia era homogénea; explicó las diferencias entre un tipo de materia y otro, no en términos de átomos de diferentes pesos o densidades sino en términos del empaquetamiento más o menos denso de los átomos. Los ladrillos básicos de materia podían ser de tamaños diferentes pero eran hechas de la misma “cosa”, y la cantidad total de sustancia material en un objeto era la masa del objeto.

El movimiento de las partículas se debía a la fuerza de la gravedad, la que, según Newton, actuaba instantáneamente a distancia. Las partículas materiales y las fuerzas entre ellas eran de naturaleza fundamentalmente diferentes, ya que la constitución interna de las partículas era independiente de su interacción mutua. Newton consideró tanto las partículas como la fuerza de la gravedad como creadas por Dios y por tanto no sujetas a mayor análisis. En su *Optica*, Newton dio una clara descripción de como se imaginaba la creación del mundo material por Dios.

Me parece probable que al principio Dios formó la materia como partículas móviles, impenetrables, duras, masivas, sólidas de tales tamaños y figuras, y con tales otras propiedades, y en tal proporción de espacio como mejor conviniera al fin para el cual las formó; y que estas partículas primitivas, siendo sólidas, son incomparablemente más duras que cualquier cuerpo poroso compuesto de ellas; tan duras, como para nunca deteriorarse o romperse en pedazos, ningún poder ordinario sería capaz de dividir lo que Dios mismo hizo en la primera creación.²⁷

En la mecánica newtoniana todos los fenómenos físicos se reducen a movimientos de partículas materiales causados por su mutua atracción mutua, esto es, por la fuerza de la gravedad. El efecto de esta fuerza sobre una partícula o sobre cualquier objeto material se describe matemáticamente por las ecuaciones de movimiento de Newton, que forman la base de la mecánica clásica. Estas se consideraron leyes fijas de acuerdo a las cuales se movían los objetos materiales, y se pensaba que explicaban todos los cambios observados en el mundo físico. En la visión newtoniana, Dios creó en el comienzo las partículas materiales, las fuerzas entre ellas y las leyes fundamentales de movimiento. En esta forma todo el universo se puso en movimiento y ha continuado haciéndolo desde entonces como una máquina, gobernado por leyes inmutables. La visión mecanicista de la naturaleza está por tanto íntimamente relacionada a un determinismo riguroso, con una máquina cósmica gigante completamente causal y determinada. Todo lo que sucedía tenía una causa definida y daba origen a un efecto definido y el futuro de cualquier parte del sistema podía -en principio- predecirse con absoluta certeza, si su estado se conocía en todos sus detalles en un tiempo dado.

Esta figura de un mundo-máquina perfecto implicaba un creador externo; un dios monárquico que gobernaba al mundo desde arriba imponiendo en él sus divinas leyes. Los fenómenos físicos mismos no se consideraban divinos en algún sentido, y cuando la ciencia hizo más difícil creer en tal dios, lo divino desapareció completamente de la visión científica del mundo, dejando atrás un vacío espiritual que ha llegado a ser característico de la corriente principal de nuestra cultura. La base filosófica de esta secularización de la naturaleza fue la visión cartesiana entre espíritu y materia. Como consecuencia de esta división se creyó que el mundo era un sistema mecánico que podría describirse objetivamente, sin mencionar nunca al observador humano y tal descripción objetiva de la naturaleza, se convirtió en el ideal de toda la ciencia.

La aplicación de la mecánica newtoniana, en los siglos dieciocho y diecinueve, logró un éxito tremendo. La teoría newtoniana fue capaz de explicar el movimiento de planetas, lunas y cometas hasta el más mínimo detalle, así como el flujo de las mareas y otros fenómenos relacionados con la gravedad. El sistema matemático del mundo de Newton se estableció rápidamente como la teoría correcta de la realidad y generó, por igual, un entusiasmo enorme entre científicos y público profano. La figura del mundo como una máquina perfecta, que Descartes había introducido, se consideraba ahora como un hecho probado y Newton se convirtió en su símbolo. Durante los últimos veinte años de su vida,

Sir Isaac Newton reinó en el Londres del siglo dieciocho como el hombre más famoso de su tiempo, el gran sabio canoso de la Revolución Científica. Relatos de este periodo de la vida de Newton suenan bastante familiares debido a nuestros recuerdos y fotografías de Albert Einstein, quien jugó un papel muy similar en nuestro siglo.

Alentados por el éxito brillante de la mecánica newtoniana en astronomía, los físicos lo extendieron al movimiento continuo de fluidos y a las vibraciones de cuerpos elásticos, y de nuevo funcionó. Por último, aun la teoría del calor pudo reducirse a mecánica cuando se clarificó que calor era la energía generada por un complicado movimiento de “bailoteo” de átomos y moléculas. Así muchos fenómenos térmicos, tales como la evaporación de un líquido, o la temperatura y presión de un gas, se comprendieron bastante bien desde un punto de vista puramente mecanístico.

El estudio del comportamiento físico de los gases condujo a John Dalton a la formulación de su celebrada hipótesis atómica, lo que probablemente fue el paso más importante en toda la historia de la química. Dalton tenía una vívida imaginación pictórica y trató de explicar las propiedades de mezclas gaseosas con la ayuda de elaborados dibujos de modelos geométricos y mecánicos de los átomos. Sus principales suposiciones fueron que todos los elementos químicos están hechos de átomos, y que los átomos de un elemento dado son todos idénticos pero difieren de los de cualquier otro elemento en masa tamaño y propiedades. Al usar la hipótesis de Dalton, los químicos del siglo diecinueve desarrollaron una teoría atómica precisa de la química que allanó el camino para la unificación conceptual de la física y la química en el siglo veinte. Así la mecánica newtoniana se extendió mucho más allá de la descripción de cuerpos macroscópicos. El comportamiento de sólidos, líquidos y gases, incluyendo los fenómenos de calor y sonido, se explicaron con éxito en términos del movimiento de partículas materiales elementales. Para los científicos de los siglos dieciocho y diecinueve este tremendo éxito del modelo mecánico confirmó su creencia de que, en verdad, el universo era un enorme sistema mecánico, que funciona de acuerdo a las leyes newtonianas de movimiento, y que la mecánica de Newton era la máxima teoría sobre fenómenos naturales.

Aunque fueron químicos más que físicos los que estudiaron las propiedades de los átomos durante el siglo diecinueve, la física clásica se basó en la idea newtoniana de átomos como ladrillos duros y sólidos de materia. Esta imagen contribuyó, sin duda, a la reputación de la física como una “ciencia dura” y al desarrollo de una “tecnología dura” basada en ella. El sobrecogedor éxito de la física newtoniana y de la creencia cartesiana en la certeza del conocimiento científico condujo directamente al énfasis en ciencia dura y tecnología dura en nuestra cultura. Solo en la mitad del siglo veinte se clarificaría la idea de que la ciencia dura era parte del paradigma cartesiano-newtoniano, paradigma que iba a ser superado.

Con el firme establecimiento de la visión mecanística del mundo en el siglo dieciocho, la física se convirtió, en forma natural, en base de todas las ciencias. Si el mundo es realmente una máquina, la mejor manera de averiguar como funciona es recurriendo a la mecánica newtoniana. Por tanto era una consecuencia inevitable de la visión cartesiana del mundo

que las ciencias de los siglos dieciocho y diecinueve se estructuraran ellas mismas de acuerdo a la física newtoniana. De hecho, Descartes era muy consciente del papel básico de la física en su visión de la naturaleza. “Toda filosofía”, escribió, “es como un árbol. Las raíces son metafísica, el tronco es física, y las ramas son todas las otras ciencias”.²⁸

Descartes mismo había delineado un enfoque mecánico de la física, astronomía, biología, sicología y medicina. Los pensadores del siglo dieciocho desarrollaron más este programa aplicando los principios de la mecánica newtoniana a las ciencias de naturaleza humana y a la sociedad humana. Las ciencias sociales, recientemente creadas, generaron gran entusiasmo y algunos de sus proponentes incluso reclamaron haber descubierto una “física social”. La teoría newtoniana del universo y su creencia en el enfoque racional a los problemas humanos se expandió tan rápidamente entre la clase media del siglo dieciocho que toda la era se conoció como la “Edad de la Ilustración”. La figura dominante en este desarrollo fue el filósofo John Locke, cuyos escritos más importantes se publicaron al final del siglo diecisiete. Fuertemente influenciado por Descartes y Newton, el trabajo de Locke tuvo un impacto decisivo en el pensamiento del siglo dieciocho.

Siguiendo la física newtoniana, Locke desarrolló una visión atomística de la sociedad describiéndola en términos de su ladrillo básico, el ser humano. Así como los físicos redujeron las propiedades de los gases al movimiento de sus átomos, o moléculas, así Locke intentó reducir los patrones observados en la sociedad al comportamiento de sus individuos. Así, procedió primero a estudiar la naturaleza del ser humano individual y luego trató de aplicar los principios de la naturaleza humana a la economía y a los problemas políticos. El análisis de Locke sobre la naturaleza humana se basó en el de un filósofo anterior, Thomas Hobbes, quien había declarado que todo conocimiento se basa en la percepción sensorial. Locke adoptó esta teoría de conocimiento y, en una famosa metáfora, comparó la mente humana al nacer a una *tabula rasa*, una tablilla completamente limpia en la que el conocimiento se imprime una vez adquirido a través de la experiencia sensorial. Esta imagen iba a tener una fuerte influencia en dos escuelas principales de psicología clásica, comportamiento y psicoanálisis, tanto como en filosofía política. De acuerdo a Locke, todos los seres humanos - “todos los hombres” como el diría- eran iguales al nacer y dependían en su desarrollo, completamente, de su entorno. Sus acciones, creía Locke, siempre se motivaban por lo que asumían era su propio interés.

Cuando Locke aplicó su teoría de la naturaleza humana a los fenómenos sociales, se guió por la creencia de que existían leyes de la naturaleza que gobiernan a la sociedad humana similares a las que gobiernan el universo físico. Así como los átomos de un gas llegan a establecer un estado de equilibrio, así los individuos humanos se acomodarán en una sociedad en un “estado natural”. Así, la función del gobierno no era la de imponer sus leyes a la gente, sino descubrir y hacer cumplir las leyes naturales que existían antes de que cualquier gobierno se formara. De acuerdo a Locke, estas leyes naturales incluían la libertad e igualdad de todos los individuos así como el derecho a la propiedad que representaba el fruto de su propio trabajo.

Las ideas de Locke se convirtieron en el sistema de valores de la Ilustración y tuvieron fuerte influencia en el desarrollo económico y político moderno. Los ideales del individualismo, los derechos de propiedad, el mercado libre, y el gobierno representativo, todos los cuales pueden rastrearse hasta Locke, contribuyeron significativamente al pensamiento de Thomas Jefferson y se reflejan en la Declaración de Independencia de la Constitución Americana.

Durante el siglo diecinueve los científicos continuaron elaborando el modelo mecánico del universo en física, química, biología, psicología y las ciencias sociales. Como resultado, el mundo-máquina de Newton se convirtió en una estructura mucho más compleja y sutil, al mismo tiempo, nuevos descubrimientos y nuevas formas de pensar develaron las limitaciones del modelo newtoniano y prepararon el camino a las revoluciones científicas del siglo veinte.

Uno de estos desarrollos del siglo diecinueve fue el descubrimiento e investigación de los fenómenos eléctricos y magnéticos que encierran un nuevo tipo de fuerza y no pueden describirse en forma apropiada por el modelo mecánico. El paso importante lo dio Michael Faraday y lo completo Clerk Maxwell -el primero, uno de los más grandes experimentadores en la historia de la ciencia; el segundo, un brillante teórico. Faraday y Maxwell no solo estudiaron los efectos de las fuerzas eléctricas y magnéticas, sino que hicieron de las fuerzas mismas el objeto primario de su investigación. Al reemplazar el concepto de fuerza con el concepto mucho más sutil del campo de fuerza, fueron los primeros en ir más allá de la física newtoniana, mostrando que los campos tenían su realidad propia y podían estudiarse sin referencia alguna a cuerpos materiales. Esta teoría, llamada electrodinámica, culminó en la comprensión de que la luz, de hecho, es un campo electromagnético rápidamente alternante que viaja a través del espacio en forma de ondas.

A pesar de estos cambios decisivos, la mecánica newtoniana conservó aún su posición como base de toda la física. Maxwell mismo trató de explicar sus resultados en términos mecánicos, interpretando los campos como estados de tensión mecánica en un medio muy liviano que todo lo penetra, llamado éter, y las ondas electromagnéticas como ondas elásticas en este éter. Sin embargo, usó diferentes interpretaciones mecánicas de su teoría al mismo tiempo y, en apariencia, no tomó en serio ninguna de ellas intuyendo que las entidades fundamentales en su teoría eran los campos y no los modelos mecánicos. Quedó a Einstein reconocer claramente este hecho en nuestro siglo, cuando declaró que el éter no existía, y que los campos electromagnéticos eran entidades físicas por derecho propio que pueden viajar a través del espacio vacío y no pueden explicarse mecánicamente.

Mientras el electromagnetismo destronaba a la mecánica newtoniana como la máxima teoría de los fenómenos naturales, una nueva forma de pensar surgió más allá de la imagen del mundo máquina newtoniana e iba a dominar no sólo el siglo diecinueve sino todo el pensamiento científico futuro. Encerraba la idea de evolución, de cambio, crecimiento y desarrollo. La noción de evolución se había originado en geología, donde estudios

cuidadosos de fósiles condujeron a los científicos a la idea de que el estado presente de la tierra era el resultado de un desarrollo continuo causado por la acción de fuerzas naturales durante periodos inmensos de tiempo. Pero los geólogos no fueron los únicos que pensaron en estos términos. La teoría del sistema solar propuesta por Immanuel Kant y Pierre Laplace se basó en el pensamiento evolutivo o desarrollista; conceptos evolutivos fueron cruciales en las filosofías políticas de Hegel y Engels; tanto poetas y filósofos, durante el siglo diecinueve, se preocuparon profundamente por el problema del surgir.

Estas ideas formaron el fondo intelectual de la formulación más precisa y de más largo alcance del pensamiento evolucionista -la teoría de la evolución de las especies. Desde la antigüedad los filósofos naturales habían jugado con la idea de una “gran cadena de seres”. Esta cadena, sin embargo, se concebía como una jerarquía estática, que comienza con Dios en lo alto y desciende a través de los ángeles, seres humanos, y animales, hasta las formas más bajas de vida. El número de especies era fijo, no había cambiado desde su creación. Como Linneo, el gran botánico y clasificador, dijo: “Conocemos tantas especies como las salidas en pares de las manos del Creador”.³⁰ Esta visión de las especies biológicas estaba en completo acuerdo con la doctrina judeo-cristiana y se amoldaba bien al mundo newtoniano.

El cambio decisivo vino con Jean Baptiste Lamarck, al comienzo del siglo diecinueve, cambio tan dramático que Gregory Bateson uno de los más profundos y amplios pensadores de nuestro tiempo, lo comparó a la Revolución Copernicana:

Lamarck, probablemente el más grande biólogo de la historia, invirtió esa escala de explicación. Fue el primer hombre que dijo que todo comienza con los infusorios y que hay cambios que conducen al hombre. Su inversión de la taxonomía es uno de los logros más asombrosos que haya ocurrido jamás. Es el equivalente en biología de la revolución de Copérnico en astronomía.³¹

Lamarck fue el primero en proponer una teoría coherente de evolución, de acuerdo a la cual todos los seres vivos han evolucionado de formas anteriores más simples bajo la presión del entorno. Aunque los detalles de la teoría lamarckiana debieron abandonarse mas tarde, fue sin embargo un importante primer paso.

Algunas décadas más tarde Charles Darwin presentó una sobrecogedora masa de evidencia en favor de la evolución biológica, estableciendo el fenómeno más allá de toda duda. También propuso una explicación basada en los conceptos de variación accidental -ahora conocida como mutación al azar- y selección natural, que iban a permanecer como las primeras piedras del pensamiento evolutivo moderno. El monumental *Origin of Species* sintetizó las ideas de los pensadores anteriores y ha moldeado todo el pensamiento biológico subsiguiente. Su papel en las ciencias de la vida fue similar al de los *Principia* de Newton en física y astronomía dos siglos antes.

El descubrimiento de la evolución en biología forzó a los científicos a abandonar la concepción cartesiana del mundo como una máquina que ha surgido completamente construida de las manos de su Creador. En su lugar, el universo debería figurarse como un sistema que evoluciona y siempre cambia, en el que las estructuras complejas se desarrollaron a partir de formas más simples. Mientras esta nueva forma de pensar se elaboraba en las ciencias de la vida, en física también aparecieron conceptos evolutivos. Sin embargo, mientras la evolución biológica implicó un movimiento hacia mayor orden y complejidad, en física condujo precisamente a lo opuesto -un movimiento hacia mayor desorden.

La aplicación de la mecánica newtoniana al estudio de los fenómenos térmicos, que involucra el tratamiento de líquidos y gases como sistemas mecánicos complicados, llevó a los físicos a la formulación de la termodinámica, la “ciencia de la complejidad”. El primer gran logro de esta nueva ciencia fue el descubrimiento de una de las leyes más fundamentales de la física, la ley de la conservación de la energía. Establece que la energía total involucrada en un proceso siempre se conserva, puede cambiar su forma de la manera mas complicada, pero nada se pierde. Esta ley, que los físicos descubrieron en su estudio de las máquinas de vapor y otras máquinas productoras de calor, se conoce como la primera ley de la termodinámica.

Fue seguida por la segunda ley de la termodinámica sobre la disipación de la energía. Mientras que la energía total requerida en un proceso es siempre constante, la cantidad de energía útil disminuye, disipándose en calor, fricción, etc. La segunda ley la formuló primero Sadi Carnot en términos de la tecnología de maquinas térmicas, pero pronto se reconoció su significado más amplio. Introdujo en física el concepto de procesos irreversibles, de una “flecha del tiempo”. De acuerdo a la segunda ley, hay cierta tendencia en los fenómenos físicos. La energía mecánica se disipa en calor y no puede recobrase completamente; cuando agua fría y caliente se junta, el resultado será agua tibia y los dos líquidos no se separaran. En forma similar, cuando se mezclan una bolsa de arena blanca y una de arena negra, el resultado será arena gris, y entre más agitemos la mezcla más uniforme será el gris, y no veremos que los dos tipos de arena se separen espontáneamente.

Lo que estos procesos tienen en común es que proceden en una cierta dirección -de orden a desorden- y esta es la formulación más general de la segunda ley de la termodinámica. Cualquier sistema físico aislado procederá espontáneamente en la dirección de mayor desorden. A mitad del siglo, para expresar esta dirección de la evolución de los sistemas físicos en forma matemática precisa, Rudolf Clausius introdujo una nueva cantidad que llamó “entropía”. El término representa una combinación de “energía” y “tropos”, la palabra griega para transformación o evolución. Por tanto entropía es una cantidad que mide el grado de evolución de un sistema físico. De acuerdo a la segunda ley, la entropía de un sistema físico aislado continuará aumentando, y ya que esta evolución va acompañada por un aumento de desorden, la entropía también puede verse como una medida de desorden.

La formulación del concepto de entropía y la segunda ley de la termodinámica fue una de las contribuciones más importantes a la física del siglo diecinueve. El aumento de entropía en los sistemas físicos, que marca la dirección del tiempo, no podía explicarse por la mecánica newtoniana y permaneció misteriosa hasta que Ludwig Boltzmann clarificó la situación al introducir una idea adicional, el concepto de probabilidad. Con la ayuda de la teoría de probabilidad, el comportamiento de sistemas mecánicos complejos pudo describirse en términos de leyes estadísticas, y la termodinámica pudo colocarse sobre una sólida base newtoniana conocida como mecánica estadística.

Boltzmann mostró que la segunda ley de la termodinámica es una ley estadística. Su afirmación de que ciertos procesos no ocurren -por ejemplo, la conversión espontánea de energía calórica en energía mecánica- no significa que sea imposible sino meramente rara en extremo. En sistemas microscópicos, que consisten de sólo pocas moléculas, la segunda ley por lo regular se viola, pero en sistemas macroscópicos, que consisten de un vasto número de moléculas -por ejemplo, cada centímetro cúbico de aire contiene unos diez millones de billones (10^{19}) moléculas-, la probabilidad de que la entropía total del sistema aumentará se convierte en certeza virtual. así, en cualquier sistema aislado, hecho de un gran número de moléculas, la entropía -o desorden- continuará aumentando hasta que, eventualmente, el sistema alcance un estado de máxima entropía, también conocido como “muerte térmica”; en este estado toda actividad habrá cesado, todo el material se encuentra igualmente distribuido y a la misma temperatura. De acuerdo a la física clásica, el universo como un todo va hacia tal estado de máxima entropía; se está desgastando y eventualmente se frenará.

Esta triste figura de la evolución cósmica es un fuerte contraste a la idea evolutiva que mantienen los biólogos que observan que el universo viviente evoluciona de desorden a orden, hacia estados cada vez más complejos. La aparición del concepto de evolución en física sacó por tanto a la luz otra limitación de la teoría newtoniana. El concepto mecánico del universo como un sistema de pequeñas bolas de billar en movimiento al azar es demasiado simplista para tratar la evolución de la vida.

Al final del siglo diecinueve la mecánica newtoniana había perdido su papel de teoría fundamental de los fenómenos naturales; la electrodinámica de Maxwell y la teoría de evolución de Darwin encerraban conceptos que claramente iban más allá del modelo newtoniano e indicaban que el universo era mucho más complejo que lo imaginado por Descartes y Newton. Sin embargo, las ideas básicas soporte de la física newtoniana, aunque insuficientes para explicar todos los fenómenos naturales, aún se consideraban correctas. Las tres primeras décadas de nuestro siglo cambiaron radicalmente esta situación. Dos desarrollos en física, que culminaron en la teoría de la relatividad y en la teoría cuántica, hicieron trizas los conceptos principales de la visión cartesiana del mundo y de la mecánica newtoniana. La noción de espacio y tiempo absolutos, partículas sólidas elementales, sustancia material fundamental, estricta naturaleza causal de los fenómenos físicos, y la

descripción objetiva de la naturaleza, -ninguno de estos conceptos pudo extenderse a los nuevos dominios en los que ahora penetraba la física.

NOTAS

1. Citado en Randall (1976), p. 237.
2. Veá, por ejemplo, Crosland (1971), p. 99.
3. Laing (1982).
4. Huai Nan Tzu, Citado en Capra (1975), p.117
5. Para referencias a estas metáforas Baconianas, vea Merchant (1980), p. 169.
6. Este punto de vista a sido discutido convincentemente por Carolyn Merchant, *ibid.*
7. Rusell (1961), p. 542.
8. Veá Vrooman (1970) pp.54-60.
9. Citado *ibid.*, p.51.
10. Citado en Garber (1978).
11. Citado *ibid.*
12. Citado en Vrooman (1970), p. 120.
13. Citado en Garber (1978).
14. *Ibid.*
15. Citado en Sommers (1978).
16. Heisenberg (1962), p. 81.
17. Merchant (1980), p. 3.
18. Citado en Randall (1976), p. 224.
19. Citado en Rodis-Lewis (1978).
20. Citado *ibid.*
21. Citado en Vrooman (1970), p. 258.
22. Citado en Capra (1975), p. 55.
23. Citado en Randall (1976), p. 263.
24. Keynes (1951).
25. Citado en Capra (1975), p. 55.
26. *Ibid.*
27. *Ibid.*, p.56.
28. Citado en Vrooman (1970), p. 189.
29. Veá Capra (1975), p. 59.
30. Citado en Randall (1976), p. 486.
31. Bateson (1972), p. 427.