

## **EL PUNTO CRUCIAL FRITJOT CAPRA**

### **II**

---

## **LOS DOS PARADIGMAS**

---

### **2. La Máquina Del Mundo Newtoniano**

---

La visión del mundo y del sistema de valores que subyacen en la base de nuestra cultura y que deben reexaminarse cuidadosamente se formularon 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.”<sup>1</sup> 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.<sup>2</sup> 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.”<sup>3</sup> 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”.<sup>4</sup> 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 en los cuales Bacon advocó 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”.<sup>5</sup> 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 James 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.<sup>6</sup> 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”.<sup>7</sup>

A la edad de veintitrés, Descartes experimentó una visión iluminadora que iba a moldear su vida entera.<sup>8</sup> 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”.<sup>9</sup> 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 autoevidentes. Descartes se sintió anonadado por esta revelación. Pensó que había logrado el descubrimiento supremo de su vida y no dudó de que su visión venía 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”.<sup>10</sup>

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 cientificismo 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”.<sup>11</sup>

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".<sup>12</sup>

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 si 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"<sup>13</sup> -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".<sup>14</sup> 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".<sup>15</sup> 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 sicoterapeutas 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".<sup>16</sup>

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.<sup>17</sup>

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”.<sup>18</sup>

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 otra 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”.<sup>19</sup>

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”.<sup>20</sup>

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 de que los científicos, animados en 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 enfaticé 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”.<sup>21</sup>

...

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”.<sup>22</sup>

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.<sup>23</sup>

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”.<sup>24</sup>

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”.<sup>25</sup> 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”.<sup>26</sup>

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.<sup>27</sup>

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 bastantes 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”.<sup>28</sup>

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 mas 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 intento 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 sicología 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 y 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 completó 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 newtoniano 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 evolucionario o desarrollista; conceptos evolucionarios 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”.<sup>30</sup> 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.<sup>31</sup>

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 lamarkiana debieron abandonarse más 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 más 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 máquinas 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 termino 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 cubico 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 evolucionaria 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. Vea, 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. Vea 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. Vea Capra (1975), p. 59.
30. Citado en Randall (1976), p. 486.
31. Bateson (1972), p. 427.

### 3. La Nueva Física

---

En el comienzo de la física moderna se resalta el extraordinario logro intelectual de un hombre -Albert Einstein. En dos artículos, ambos publicados en 1905, Einstein inició dos rumbos revolucionarios en el pensamiento científico. Uno fue su teoría especial de la relatividad, el otro, su nueva forma de ver la radiación electromagnética que iba ser característica de la teoría cuántica, la teoría de los fenómenos atómicos. La teoría cuántica completa la produjo veinte años mas tarde todo un equipo de físicos. La teoría de la relatividad, sin embargo, se construyó en su forma completa casi enteramente por Einstein mismo. Los trabajos científicos de Einstein son monumentos intelectuales que marcan el comienzo del pensamiento del siglo veinte.

Einstein creyó fuertemente en la armonía inherente de la naturaleza, y durante su vida científica su más profunda preocupación fue encontrar una base unificada de la física. Comenzó a dirigirse hacia este propósito construyendo un marco común para la electrodinámica y la mecánica, las dos teorías de la física clásica que permanecían separadas. Este marco se conoce como la teoría especial de la relatividad. Unificó y completo la estructura de la física clásica, pero al mismo tiempo implicó cambios radicales en los conceptos tradicionales de espacio y tiempo y así debilitó una de las bases de la visión newtoniana del mundo. Diez años mas tarde Einstein propuso su teoría general de la relatividad, en la que el marco de la teoría especial se amplía para incluir la gravedad. Esto se alcanza modificando más drásticamente los conceptos de espacio y tiempo.

El otro gran desarrollo de la física del siglo veinte fue consecuencia de la investigación experimental de los átomos. Al comienzo del siglo, los físicos descubrieron varios fenómenos conectados con la estructura de los átomos, tales como rayos X y radioactividad, que eran inexplicables en términos de física clásica. Además de ser objetos de intenso estudio, estos fenómenos se usaron, de las maneras mas ingeniosas, como nuevos instrumentos para escudriñar más profundamente en la materia de lo que nunca había sido posible hasta entonces. Por ejemplo, las llamadas partículas alfa emanadas por sustancias radioactivas se percibieron como proyectiles de alta velocidad de tamaño subatómico que podían usarse para explorar el interior del átomo. Podían dispararse contra los átomos, y por la forma en que fueran deflectados se podría sacar conclusiones acerca de la estructura de los átomos,

Esta exploración del mundo atómico y subatómico puso a los científicos en contacto con una realidad extraña e inesperada que hizo astillas las bases de su visión del mundo y los forzó a pensar en formas enteramente nuevas. Nada así había ocurrido nunca antes en ciencia. Revoluciones como las de Copérnico y Darwin introdujeron cambios profundos en la concepción general del universo, cambios que fastidiaron a mucha gente, pero los nuevos conceptos mismos no eran difíciles de comprender. En el siglo, sin embargo, los físicos enfrentaron, por primera vez, un reto serio a su habilidad de entender el universo. Cada vez que formularon una pregunta a la naturaleza en un experimento atómico, la naturaleza respondió con una paradoja, y entre más trataron de clarificar la situación, más claras aparecían las paradojas. En su lucha por comprender esta nueva realidad, los científicos penosamente se dieron cuenta que sus conceptos básicos, su lenguaje, y su manera entera de pensar eran inadecuados para entender los fenómenos atómicos. Su problema no era sólo intelectual sino que encerraba una experiencia existencial y emocional, como vivamente lo describe Werner Heisenberg: “recuerdo discusiones con Bohr que duraron muchas horas hasta muy tarde en la noche y terminaron casi en desespero; y cuando al final de la discusión fui sólo a pasear por un parque vecino me repetía a mi mismo una y otra vez la pregunta: Puede ser posible que la naturaleza sea tan absurda como nos parece en estos experimentos atómicos?”.

Les tomó mucho tiempo a estos físicos aceptar el hecho que las paradojas encontradas eran aspectos esenciales de la física atómica, y darse cuenta que surgían cuando trataban de describir los fenómenos atómicos en términos de los conceptos clásicos. Una vez se percibió esto, los físicos comenzaron a formular las preguntas correctas y a evitar contradicciones. Como dice Heisenberg, “De alguna manera se contagiaron del espíritu de la teoría cuántica”, y

finalmente encontraron la formulación matemática precisa y consistente para esa teoría. La teoría cuántica, o mecánica cuántica como también se le llama, se formuló durante las tres primeras décadas de nuestro siglo por un grupo internacional de físicos que incluyó a Max Planck, Albert Einstein, Niels Bohr, Luis De Broglie, Erwin Schrödinger, Wolfgang Pauli, Werner Heisenberg y Paul Dirac. Estos hombres unieron fuerzas a través de fronteras nacionales para dar forma a uno de los periodos más excitantes de la ciencia moderna, uno que vio no sólo intercambios intelectuales brillantes sino también conflictos humanos dramáticos, además de amistades personales profundas, entre los científicos.

Aún después que la formulación matemática de la mecánica cuántica se completó, su esquema conceptual no fue, de ninguna manera fácil de aceptar. Su efecto sobre la visión de la realidad del físico fue en verdad devastador. La nueva física necesitó cambios profundos en los conceptos de espacio, tiempo, materia, objeto, y causa y efecto, y ya que estos conceptos son tan fundamentales en la forma en que experimentamos el mundo, su transformación vino como un gran golpe. Para citar de nuevo a Heisenberg, “La violenta reacción al reciente desarrollo de la física moderna puede entenderse solamente cuando uno se da cuenta que las bases de la física habían empezado a tambalearse; y que este movimiento había causado el sentimiento que el piso se le correría a la ciencia”.

Einstein experimentó este mismo golpe cuando se le confrontó con los nuevos conceptos de la física, y describió sus sentimientos en términos muy similares a los de Heisenberg: “Todos mis intentos de adaptar las bases teóricas de la física a este [nuevo tipo de] conocimiento fallaron completamente. Era como si el piso se le hubiera quitado a uno, sin alguna base firme a la vista, sobre la que uno pudiera construir”.

De estos cambios revolucionarios en los conceptos de la realidad producidos por la física moderna, está surgiendo ahora una visión consistente del mundo. Esta visión no es compartida por la comunidad entera de físicos pero es discutida y elaborada por muchos líderes físicos cuyo interés en su ciencia va mas allá de los aspectos técnicos de su investigación. Estos científicos están profundamente interesados por implicaciones filosóficas de la física moderna y están tratando con una mente abierta de mejorar su entendimiento de la naturaleza de la realidad.

En contraste con la visión mecánica cartesiana del mundo, la visión del mundo que emerge de la física moderna puede caracterizarse con palabras como orgánica, totalizadora y ecológica. Puede llamarse también una visión sistémica, en el sentido de una teoría general de sistemas. El universo ya no se ve como una máquina hecha de multitud de objetos, pero debe dibujarse como un todo dinámico e indivisible, cuyas partes están esencialmente interrelacionadas y pueden entenderse sólo como patrones de un proceso cósmico.

Los conceptos básicos subyacentes a esta visión del mundo de la física moderna se discuten en las paginas siguientes. Describí esta visión del mundo en detalle en *The Tao of Physics*, mostrando como está relacionada con las visiones de las tradiciones místicas especialmente aquellas del misticismo oriental. Muchos físicos, educados, como yo lo fui, en una tradición que asocia misticismo con cosas vagas, misteriosas y altamente no científicas, se escandalizaron al ver sus ideas comparadas a las de los místicos. Afortunadamente, esta actitud está cambiando ahora. A medida que el pensamiento oriental ha empezado a interesar a un número significativo de personas, y la meditación ya no se ve como ridícula o sospechosa, el misticismo se esta tomando en serio aun dentro de la comunidad científica. Un número en aumento de científicos esta consciente de que el pensamiento místico provee un transfondo filosófico significativo y consistente de las teorías de las ciencias contemporáneas, una concepción del mundo con la cual los descubrimientos científicos de hombres y mujeres pueden estar en perfecta armonía con sus objetivos espirituales y creencias religiosas.

La investigación experimental al comienzo del siglo produjo resultados sensacionales y totalmente inesperados. Lejos de ser partículas duras y sólidas de la teoría honrada en el tiempo, resultaron ser vastas regiones de espacio en las que partículas extremadamente pequeñas -los electrones- se movían alrededor del núcleo. Algunos años mas tarde la teoría cuántica estableció que aun las partículas subatómicas -los electrones y los protones en el núcleo- no eran nada parecido a los objetos sólidos de la física clásica. Estas unidades subatómicas de materia son entidades muy abstractas que tienen un aspecto dual. dependiendo de como las miremos, algunas veces aparecen como partículas, otras como ondas, y esta naturaleza dual es también compartida por la luz que puede tomar la forma de ondas

electromagnéticas o partículas. Las partículas de luz las llamó Einstein primero “cuanta” -de aquí el origen del término “teoría cuántica”- ahora se conocen como fotones.

Esta naturaleza dual de la materia y de la luz es muy extraña, parece imposible aceptar que algo pueda ser, al mismo tiempo, una partícula, una entidad confinada a un volumen muy pequeño y a una onda, que está esparcida en una gran región del espacio. Y sin embargo esto es precisamente lo que los físicos tuvieron que aceptar. La situación aprecia una paradoja sin salida hasta que se hizo claro que los términos “partícula” y “onda” se refieren a conceptos clásicos que no son completamente adecuados para describir fenómenos atómicos. Un electrón no es ni partícula ni onda; pero puede mostrar aspectos de partícula en algunas situaciones y aspectos de onda en otras. Mientras actúa como partícula, es capaz de desarrollar su naturaleza de onda a expensas de su naturaleza de partícula y viceversa, llevando a cabo así una continua transformación de partícula a onda y de onda a partícula. Esto significa que ni el electrón ni ningún otro “objeto” atómico tiene propiedades intrínsecas de su entorno. Las propiedades que muestra -como partícula o como onda- dependerán de la situación experimental, esto es, del aparato en el que se ve forzado a interactuar.

Fue el gran logro de Heisenberg expresar las limitaciones de los conceptos clásicos en una forma matemática precisa, que se conoce como el principio de incertidumbre. Consiste de un conjunto de relaciones matemáticas que determinan el alcance en el que pueden aplicarse los conceptos clásicos a los fenómenos atómicos; estas relaciones ponen de relieve los límites de la imaginación humana en el mundo atómico. Siempre que usemos términos clásicos -partícula, onda, posición, velocidad- para describir fenómenos atómicos, encontramos que hay pares de conceptos o aspectos que están interrelacionados y no pueden definirse simultáneamente de forma precisa. Entre más enfatizamos un aspecto en nuestra descripción más incierto queda el otro aspecto, y la relación precisa entre los dos está dada por el principio de incertidumbre.

Para entender mejor esta relación entre pares de conceptos clásicos, Niels Bohr introdujo la noción de complementariedad. Consideró el aspecto de partícula y el aspecto de onda como dos descripciones complementarias de la misma realidad, cada una sólo parcialmente correcta y con un rango limitado de aplicación. Ambos aspectos se requieren para dar cuenta completa de la realidad atómica, y ambos deben aplicarse dentro de las limitaciones dadas por el principio de incertidumbre. La noción de complementariedad se ha convertido en parte esencial de la forma en que los físicos piensan acerca de la naturaleza, y Bohr ha sugerido con frecuencia, que podría ser un concepto útil también fuera del campo de la física. Por supuesto, esto parece ser verdad, y volveremos a ello en nuestras discusiones de fenómenos biológicos y sociológicos. La complementariedad ya ha sido usada extensamente en nuestro panorama de la terminología china yin/yang, ya que el yin y yang son opuestos interrelacionados en una forma polar o complementaria. Claramente el concepto moderno de complementariedad se refleja en el pensamiento chino antiguo hecho que produjo una profunda impresión en Niels Bohr. La resolución de la paradoja partícula/onda forzó a aceptar un aspecto de la realidad que puso en tela de juicio el mismo fundamento de la visión del mundo mecánico -el concepto de la realidad de la materia. En el nivel subatómico la materia no existe con certeza en lugares definidos sino que más bien muestra “tendencias a existir” y los sucesos atómicos no ocurren con certeza en tiempos definidos y en formas definidas sino que más bien muestran “tendencias a ocurrir”. En el formalismo de la mecánica cuántica, estas tendencias se expresan como probabilidades y están asociadas con cantidades que toman la forma de ondas, son similares a las formas matemáticas que se usan para describir, digamos, una cuerda de guitarra vibrando, u onda sonora. Así es como las partículas pueden ser ondas al mismo tiempo. No son ondas tridimensionales “reales” como las ondas en el agua u ondas sonoras. Son “ondas de probabilidad” -cantidades matemáticas abstractas con todas las propiedades características de ondas- relacionadas con la probabilidad de encontrar las partículas en puntos específicos del espacio y en tiempos específicos. Todas las leyes de la física atómica se expresan en términos de estas probabilidades. Nunca podemos predecir un suceso atómico con certeza; sólo podemos predecir la posibilidad de su ocurrencia.

El descubrimiento del aspecto dual de la materia y del papel fundamental de la probabilidad demolió la noción clásica de objetos sólidos. Al nivel subatómico, los objetos materiales sólidos de la física clásica se disuelven en patrones ondulatorios de probabilidades. Estos patrones, además, no representan probabilidades de cosas sino más



bien probabilidades de interconexiones. Un análisis cuidadoso de los procesos de observación en física atómica muestra que las partículas subatómicas no tienen significado como entidades aisladas sino que sólo pueden entenderse como interconexiones, o correlaciones entre los distintos procesos de observación y medida. Como escribió Niels Bohr “partículas materiales aisladas son abstracciones, ya que sus propiedades se definen y observan sólo a través de su interacción con otros sistemas”.

Las partículas subatómicas, entonces, no son “cosas” sino interconexiones entre “cosas”, y estas “cosas”, a su vez son interconexiones “cosas”, etc. En teoría cuántica usted nunca termina con cosas; siempre trata con interconexiones.

Así es como la física moderna revela la unidad básica del universo, muestra que no podemos descomponer el mundo en mínimas unidades con existencia independiente. A medida que penetramos en la materia, la naturaleza no nos muestra ningún ladrillo básico aislado, sino que aparece más bien como una red complicada de relaciones entre las diferentes partes de un todo unificado. Como lo expresó Heisenberg, “El mundo por tanto aparece como un complejo entramado de eventos, en el que conexiones de diferentes clases se alternan o se superponen o se combinan y así determinan la textura del todo”.

El universo, entonces es un todo unificado que puede dividirse hasta un cierto grado en partes separadas, en objetos hechos de moléculas y átomos, ellos mismos hechos de partículas, pero aquí, al nivel de las partículas, la noción de partes separadas fracasa. Las partículas subatómicas -y por tanto, en últimas, todas las partes del universo-, no pueden entenderse como unidades aisladas sino que deben entenderse a través de sus interrelaciones. Henry Stapp, de la universidad de California escribe, “una partícula elemental no es una entidad inanalizable con existencia independiente. Es en esencia, un conjunto de relaciones que tratan de alcanzar otras cosas”.

Este cambio de objetos a relaciones tiene implicaciones de largo alcance para la ciencia como un todo. Mas aún, Gregory Bateson arguyó que las relaciones deberían usarse como base para *todas* las definiciones, y que esto debería enseñarse a nuestros hijos en la escuela elemental. Cualquier cosa, creía, debería definirse no por lo que es en si misma, sino por sus relaciones con otras cosas.

En teoría cuántica el hecho de que los fenómenos atómicos estén determinados por sus conexiones al todo esta íntimamente relacionado con el papel fundamental de la probabilidad. En física clásica, probabilidad se usa cuando se desconoce los detalles mecánicos involucrados en un suceso. Por ejemplo, cuando arrojamus un dado, podríamos -en principio- predecir el resultado si conociéramos todos los detalles de los objetos en cuestión: la composición exacta del dado, la superficie sobre la que cae, etc. Estos detalles se llaman variables locales por que residen dentro de los objetos involucrados. Las variables locales son importantes también en física atómica y subatómica. Aquí se representan por correcciones entre eventos separados espacialmente a través de señales -partículas y redes de partículas- que respetan las leyes usuales de separación espacial. Por ejemplo, ninguna señal puede transmitirse mas rapido que la velocidad de la luz. Pero mas allá de estas conexiones locales, hay conexiones no locales que son instantáneas y no pueden predecirse, hasta ahora, en una forma matemática precisa. Estas conexiones no locales son la esencia de la realidad cuántica. Cada evento esta influenciado por todo el universo y aunque no podemos describir esta influencia en detalle, reconocemos algún orden que puede expresarse en términos de leyes estadísticas.

Esta probabilidad se usa en física clásica y cuántica por razones similares. En ambos casos existen variables “ocultas”, desconocidas, y esta ignorancia nos impide hacer predicciones exactas. Sin embargo, hay una diferencia crucial. Mientras que las variables ocultas en física clásica son mecanismos locales, en mecánica cuántica son no locales; son conexiones instantáneas con el universo como un todo. En el mundo macroscópico ordinario, las conexiones no locales carecen relativamente de importancia, y por tanto podemos hablar de objetos separados y formular las leyes de la física en términos de sistemas. Pero a medida que vamos a dimensiones mas pequeñas, las conexiones no locales se hacen mas fuertes; aquí las leyes de la física solo pueden formularse en términos de probabilidades, y se hacen mas y mas difícil separar cualquier parte del universo del todo.

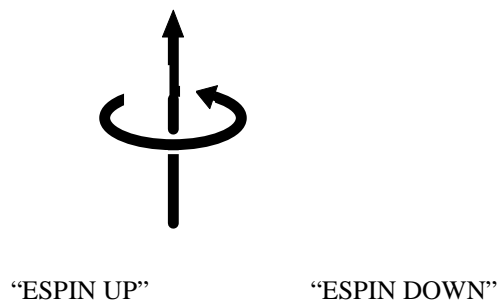
Einstein nunca pudo aceptar la existencia de conexiones no locales y la naturaleza fundamental de la probabilidad que de ahí resulta. Esto fue el objeto del histórico debate en los años veinte con Bohr, en el que Einstein expreso su

oposición a la interpretación de Bohr de la teoría cuántica en su famosa metáfora, “Dios no juega a los dados”. Al final del debate, Einstein tuvo que admitir que la teoría cuántica, como la interpretaron Bohr y Heisenberg, formaba un sistema de pensamiento consistente, pero el permaneció convencido de que se encontraría, en el futuro, una interpretación determinista en términos de variables locales ocultas.

La reticencia de Einstein a aceptar la consecuencia de la teoría que su trabajo previo había ayudado a establecer es uno de los episodios mas fascinantes en la historia de la ciencia. La esencia de este desacuerdo con Bohr y su firme creencia en alguna realidad externa, consistente en elementos independientes, espacialmente separados. Esto demuestra que la filosofía de Einstein era esencialmente cartesiana. Aunque inicio la revolución de la ciencia del siglo veinte y fue mas allá de Newton en su teoría de la relatividad, parece que Einstein, de alguna manera, no logro ir mas allá de Descartes. Esta afinidad entre Einstein y Descartes es todavía mas intrigante en vista de los intentos de Einstein hacia el final de su vida de construir una teoría unificada de campos geometrizando la física de acuerdo a su teoría general de la relatividad. Si estos intentos hubieran tenido éxito, Einstein bien pudiera haber dicho, como Descartes, que su física entera no era mas que geometría.

En su intento de mostrar que la interpretación de Bohr de la teoría cuántica era inconsistente, Einstein diseñó un experimento mental que se ha conocido como el experimento Einstein-Podolsky-Rosen (EPR). Tres décadas mas tarde John Bell derivó un teorema, basado en el experimento EPR que probaba que la existencia de variables locales ocultas es inconsistente con las predicciones estadísticas de la mecánica cuántica. El teorema de Bell dio un golpe demoledor a la posición de Einstein al mostrar que la concepción cartesiana de la realidad como partes separadas, unidas por conexiones locales es incompatible con la teoría cuántica.

El experimento EPR provee un buen ejemplo de una situación en la que un fenómeno cuántico se estrella contra nuestra mas profunda intuición de la realidad. Por tanto, es idealmente apropiado para mostrar la diferencia entre conceptos cuánticos y clásicos. Una visión simplificada del experimento consiste de dos electrones girando, y si vamos a captar la esencia de la situación, es necesario entender algunas propiedades del giro del electrón (o espín)\*. La imagen clásica de una pelota de tenis girando no es completamente adecuada para describir una partícula subatómica girando. El espín de una partícula es, en un sentido una rotación alrededor del eje propio de la partícula, pero, como siempre ocurre en la física subatómica, este concepto clásico es limitado. En el caso de un electrón, el espín de la partícula se restringe a dos valores: la cantidad de espín es siempre la misma, pero la partícula puede girar en una u otra dirección, para un eje dado de rotación. Los físicos denotan con frecuencia estos valores del espín como “up” y “down”, asumiendo que el eje de rotación del electrón en este caso ,es vertical.



La propiedad crucial del electrón girando, que no puede entenderse en términos de ideas clásicas, es el hecho de que su eje de rotación no siempre puede definirse con certeza. Así como los electrones muestran tendencias a existir en ciertos lugares, así también muestra tendencias a girar alrededor de ciertos ejes. Aun cuando una medida se lleve a cabo para un eje de rotación, el electrón puede encontrarse girando en una u otra dirección alrededor de ese eje. En otras palabras, la partícula adquiere un eje definido de rotación durante el proceso de medida, pero antes de medirlo, no puede decirse en general que este girando alrededor de un eje definido; solamente tiene una cierta tendencia, o potencialidad, a hacerlo.

Con esta comprensión del espín electrónico podemos ahora examinar el experimento EPR y el teorema de Bell. Para efectuar el experimento, se usa uno de varios métodos para colocar dos electrones en el que su espín total sea cero, esto es, están girando en direcciones opuestas. Supongamos ahora que las dos partículas en este sistema de espín total cero se separan por algún proceso que no afecte sus espines. A medida que se apartan en direcciones opuestas, su espín combinado aun será cero, y una vez estén separados por una gran distancia, se miden sus espines individuales. Un aspecto importante del experimento es el hecho de que la distancia entre las dos partículas en el momento de la medida es microscópica. Puede ser arbitrariamente grande; Una puede estar en Los Angeles y la otra en New York, o una en la tierra y la otra en la luna.

Suponga ahora que el espín de la partícula 1 se mide respecto al eje vertical y se encuentra que es “up”. Ya que el espín combinado de las dos partículas es cero, esta medida nos dice que el espín de la partícula 2 debe ser “down”. En forma similar, si escogemos medir el espín de la partícula 1 alrededor del eje horizontal y encontramos que es “derecho”, sabemos que en ese caso, el espín de la partícula 2 debe ser “izquierdo”. La teoría cuántica nos dice que un sistema de dos partículas que tengan espín cero, los espines de sus partículas alrededor de cualquier eje siempre estarán correlacionados -serán opuestos- aunque existan solo como tendencias, o potencialidades, antes de tomar la medida. Esta correlación significa que la medida del espín de la partícula 1 alrededor de cualquier eje, provee una medida indirecta del espín de la partícula 2 sin perturbar en forma alguna esa partícula.

El aspecto paradójico del experimento EPR, resulta del hecho de que el observador es libre de escoger el eje de medida. Una vez se ha escogido, la medida transforma en certeza las tendencias de las partículas a girar alrededor de varios ejes. El punto crucial es que podemos escoger nuestros ejes de medida en el ultimo minuto, cuando las partículas ya están muy lejos. En el instante que realizamos nuestra medida en la partícula 1, la partícula 2 que puede estar a miles de kilómetros, adquirirá un espín definido -“up” o “down” si hemos escogido el eje vertical, “izquierdo” o “derecho” si escogemos el eje horizontal. Como sabe la partícula 2 que eje hemos escogido? no hay tiempo para que reciba esa información por ninguna señal convencional.

Esta es la esencia del experimento EPR, y es aquí donde Einstein no estuvo de acuerdo con Bohr. Según Einstein, ya que ninguna señal puede viajar a mayor velocidad que la luz, es por tanto imposible que la medida realizada en una partícula determine instantáneamente la dirección del espín de la otra partícula, a miles de kilómetros de distancia. Según Bohr, el sistema de dos partículas es un todo indivisible aun si las partículas se encuentran separadas a una gran distancia; el sistema no puede analizarse en términos de partes independientes. En otras palabras, la visión cartesiana de la realidad no puede aplicarse a los dos electrones. Aunque se encuentren muy separados en el espacio, se encuentran sin embargo unidos por conexiones instantáneas, no locales. Estas conexiones no son señales en el sentido einsteniano; trasciende nuestra noción convencional de transferencia de información. El teorema de Bell concuerda con la interpretación de Bohr de dos partículas como un todo indivisible y prueba rigurosamente que la visión cartesiana de Einstein es incompatible con las leyes de la teoría cuántica. Stapp resume esta situación: “El teorema de Bell prueba, en efecto, la profunda verdad de que el mundo o carece fundamentalmente de leyes o es fundamentalmente inseparable”.

El papel fundamental de las conexiones no locales y de probabilidad en física atómica implica una nueva noción de causalidad que es posible que tenga implicaciones profundas en todos los campos de la ciencia. La ciencia clásica se construyó con el método cartesiano de analizar el mundo en partes y arreglar esas partes de acuerdo a leyes causales. La figura determinista del universo que de allí resultaba estaba íntimamente relacionada con la imagen de la naturaleza como un reloj. En física atómica tal figura mecánica y determinista no es ya posible. La teoría cuántica nos ha mostrado que el mundo no puede ser analizado en elementos aislados con existencia independiente. La noción de partes separadas -como átomos o partículas subatómicas- es una idealización con validez solamente aproximada; estas partes no están conectadas por leyes causales en el sentido clásico .

En teoría cuántica, los eventos individuales no siempre tienen una causa bien definida. Por ejemplo el salto de un electrón de una órbita atómica a otra, o la desintegración de una partícula subatómica puede ocurrir espontáneamente sin que ningún evento lo cause. nunca podemos predecir cuando y como tal fenómeno va a ocurrir; solo podemos

predecir su probabilidad. Esto no significa que los sucesos atómicos ocurran de manera completamente arbitraria; solo significa que no se producen por causas locales. El comportamiento de cualquier parte esta determinado por sus conexiones no locales con el todo, y ya que no conocemos estas conexiones en forma precisa, tenemos que reemplazar la estrecha noción clásica de causa y efecto por un concepto mas amplio de causalidad estadística. Las leyes de la física atómica son leyes estadísticas, según las cuales las probabilidades de los eventos atómicos están determinados por la dinámica de todo el sistema. Mientras en mecánica clásica, las propiedades y comportamientos de estas partes determinan las del todo, la situación se invierte en mecánica cuántica: es el todo el que determina el comportamiento de las partes.

Los conceptos de no localidad y de causalidad estadística implican muy claramente que la estructura de la materia es no mecánica. De aquí que el termino “mecánica cuántica” esta muy equivocado, como ha señalado David Bohm. En su texto de teoría cuántica de 1951, Bohm planteó algunas especulaciones interesantes sobre las analogías entre procesos cuánticos y procesos mentales, llevando así mas lejos la celebrada frase de James Jeans dos décadas antes: “Existe hoy un amplio acuerdo... de que la corriente del conocimiento se dirige a una realidad no mecánica; el universo empieza a mirarse mas como un gran pensamiento que como una gran maquina”.

La similitud aparente entre la estructura de la materia y la estructura de la mente no debiera sorprendernos demasiado, ya que la consciencia humana juega un papel crucial en el proceso de observación, y determina en gran medida, en física atómica las propiedades los fenómenos observados. Esta es otra importante intuición de la teoría cuántica que es posible tenga consecuencias de largo alcance. En física atómica los fenómenos observados pueden entenderse solo como correlaciones entre varios procesos de observación y medida, y al final de esta cadena de procesos es siempre la consciencia del observador humano. El aspecto crucial de la teoría cuántica es que el observador es necesario no solo para observar las propiedades de un fenómeno atómico, sino necesario también para producir estas propiedades. Mi decisión consciente de como observar, digamos, un electrón determinara las propiedades del electrón de alguna forma. Si le formulo una pregunta de partícula, me dará una respuesta de partícula; si le formulo una pregunta de onda, me dará una respuesta de onda. El electrón *no tiene* propiedades objetivas independientes de mi mente. En física atómica, la clara distinción entre mente y materia, entre el observador y lo observado, no puede ya mas mantenerse. Nunca podremos hablar de la naturaleza sin, al mismo tiempo, hablar de nosotros mismos.

Al trascender la división cartesiana, la física moderna no solo ha invalidado el ideal clásico de una descripción objetiva de la naturaleza sino que también ha desafiado el mito de una ciencia libre de valoración. Los patrones que los científicos observan en la naturaleza están íntimamente conectados con los patrones de sus mentes; con sus conceptos, pensamientos y valores. Por tanto los resultados científicos que obtienen y las aplicaciones tecnológicas que investigan estarán condicionados por su marco mental. Aunque mucho de su investigación detallada no dependerá explícitamente de su esquema de valores, el paradigma mas amplio dentro del cual realizan sus investigación nunca será libre de valoración. Los científicos, por tanto, son responsables de su investigación no solo intelectual sino moralmente. Esta responsabilidad se ha convertido en tema importante en muchas de las ciencias, pero especialmente en física, en la que los resultados de la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad han abierto dos caminos muy diferentes a seguir por los físicos. Nos pueden conducir - para ponerlo en términos extremos- al Buda o a la Bomba, y depende de nosotros decidir que camino tomar.

La concepción del universo como una red interconectada de relaciones es uno de los dos mayores temas que aparecen una y otra vez en física moderna. El otro tema es el darse cuenta de que la red cósmica es intrínsecamente dinámica. El aspecto dinámico de la materia surge en teoría cuántica como consecuencia de la naturaleza ondulatoria de las partículas subatómicas y es aun mas central en teoría de la relatividad, que nos ha mostrado que el ente de materia no puede separarse de su actividad. Las propiedades de sus patrones básicos, las partículas subatómicas, pueden entenderse solamente en un contexto dinámico, en términos de movimiento, interacción y transformación.

El hecho de que las partículas no son unidades aisladas sino patrones de probabilidad ondulatorios implica que se comportan en una forma muy peculiar. Cuando se confina una partícula subatómica a una pequeña región del espacio reacciona a este confinamiento moviéndose de un lado a otro. Entre mas pequeña la región de confinamiento, mas

rápido la partícula “brincará” en él. Este comportamiento es un “efecto cuántico” típico, un aspecto del mundo subatómico que no tiene analogía en la física macroscópica: entre mas se confine la partícula mas rápido se moverá. Esta tendencia de las partículas a reaccionar al confinamiento con movimiento implica una “inquietud” fundamental de la materia que es característica del mundo subatómico. En este mundo la mayor parte de las partículas materiales *están* confinadas; están ligadas a estructuras moleculares atómicas y nucleares, y por tanto no están en reposo sino que tienen una tendencia inherente a moverse. De acuerdo a la teoría cuántica, la materia esta siempre agitada, nunca en quietud. En el contexto de que las cosas puedan figurarse como hechas de constituyentes mas pequeños - moléculas, átomos y partículas- estos constituyentes están en un estado de continuo movimiento. Macroscópicamente los objetos materiales alrededor de nosotros parecen pasivos e inertes, pero cuando magnificamos un trozo de piedra o de metal “muertos”, los vemos llenos de actividad. Entre mas cerca miremos mas vivos parecen. Todos los objetos materiales de nuestro entorno están hechos de átomos que se unen unos con otros de varias maneras para formar una enorme variedad de estructuras moleculares que no son rígidas y sin movimiento sino que vibran de acuerdo a su temperatura y en armonía con las vibraciones térmicas de su entorno. Dentro de los átomos vibrando los electrones están ligados a los núcleos atómicos por fuerzas eléctricas que tratan de mantenerlos tan cerca como sea posible, y ellos responden a este confinamiento dando vueltas extremadamente rápido. En el núcleo, finalmente, los protones y neutrones están presos en un volumen diminuto debido a fuerzas nucleares fuertes y en consecuencia corren a velocidades inimaginables.

Así la física moderna describe la materia no como pasiva e inerte sino como en un continuo movimiento de danza y vibración cuyos patrones rítmicos están determinados por las configuraciones moleculares, atómicas y nucleares. Hemos llegado a darnos cuenta de que no hay estructuras estáticas en la naturaleza. hay estabilidad, pero esta estabilidad es un balance dinámico, y entre mas penetremos en la materia mas necesitamos entender su naturaleza dinámica para entender sus patrones.

En esta penetración al mundo de dimensiones submicroscópicas, se alcanza un punto decisivo en el estudio de los núcleos atómicos en el que las velocidades de neutrones y protones son con frecuencia tan altas que están cerca de la velocidad de la luz. Este hecho es crucial para la descripción de sus interacciones, ya que cualquier descripción de los fenómenos naturales que involucran tan altas velocidades tiene que tener en cuenta la teoría de la relatividad. Para entender las propiedades e interacciones de las partículas subatómicas necesitamos un marco que incorpore no solo la teoría cuántica sino también la teoría de la relatividad; y es la teoría de la relatividad la que revela la naturaleza dinámica de la materia en la forma mas completa.

La teoría de Einstein de la relatividad acarreo un cambio drástico en nuestros conceptos de espacio y tiempo. Nos forzó a abandonar las ideas clásicas de un espacio absoluto como escenario de los fenómenos físicos y el tiempo absoluto como una dimensión separada del espacio. De acuerdo a la teoría de Einstein, tanto espacio como tiempo son conceptos relativos, reducidos al papel subjetivo de elementos del lenguaje que un observador cualquiera usa para describir los fenómenos naturales. Para proveer una descripción apropiada de los fenómenos que involucran velocidades cercanas a la velocidad de la luz, debe usarse un marco “relativístico”, que incorpore el tiempo a las tres coordenadas espaciales, convirtiéndolo en una cuarta coordenada que debe especificarse con relación al observador. En tal marco, espacio y tiempo están conectados íntima e inseparablemente y forman un continuo cuadri-dimensional llamado “espacio-tiempo”. En física relativística, nunca podremos hablar del espacio sin hablar del tiempo, y viceversa.

Los físicos han convivido con la teoría de la relatividad por muchos años y se han familiarizado completamente con su formalismo matemático. Sin embargo, esto no ha ayudado mucho a nuestra intuición. No tenemos experiencia sensorial directa de un espacio-tiempo cuadri-dimensional, y cuando esta realidad relativística se manifiesta a si misma -esto es, en toda situación en donde se involucran altas velocidades- encontramos muy difícil tratarla al nivel de intuición y del lenguaje ordinario. Un ejemplo extremo de tal situación ocurre en electrodinámica cuántica, una de las teorías relativísticas mas exitosas de la física de partículas, en que las antipartículas pueden interpretarse como partículas que se mueven hacia atrás en el tiempo. De acuerdo a esta teoría, las mismas expresiones matemáticas describen a un positrón -la antipartícula del electrón- moviéndose del pasado al futuro a un electrón moviéndose del futuro al pasado. Las interacciones entre partículas pueden darse en cualquier dirección del espacio-tiempo cuadri-

dimensional, moviéndose hacia adelante y hacia atrás en el tiempo así como se mueven a izquierda y a derecha en el espacio. Para figurarnos estas interacciones necesitamos mapas cuadri-dimensionales que cubran toda la duración del tiempo así como toda la región del espacio. Estos mapas conocidos como diagramas espacio-tiempo, no tienen, unida a ellos, una dirección de tiempo definida. En consecuencia no hay “antes” y “después” en los procesos que configuran, y por tanto ninguna relación lineal de causa y efecto. Todos los efectos están interconectados, pero las conexiones no son causales en el sentido clásico.

Matemáticamente no hay problema con la interpretación de las interacciones de partículas, pero cuando queremos expresarla en lenguaje ordinario tropezamos con serias dificultades, ya que todas nuestras palabras se refieren a nociones convencionales en el tiempo y son inapropiadas para describir fenómenos relativísticos. Así, la teoría de la relatividad nos ha enseñado la misma lección que la mecánica cuántica. Nos ha mostrado que nuestras nociones comunes de la realidad están limitadas a nuestra experiencia ordinaria del mundo físico y debemos abandonarlas cuando extendemos esta experiencia.

Los conceptos de espacio y tiempo son tan básicos para nuestra descripción de los fenómenos naturales que su modificación radical por la teoría de la relatividad entrañan una modificación de todo el marco que usamos en física para describir la naturaleza. La consecuencia mas importante del nuevo marco relativístico ha sido el darnos cuenta de que la masa no es mas que una forma de energía. Incluso un objeto en reposo tiene energía almacenada en sus masa, y la relación entre las dos esta dada por la famosa ecuación de Einstein  $E = mc^2$ , siendo  $c$  la velocidad de la luz.

Una vez se la mira como una forma de energía, ya no se requiere que la masa sea indestructible, sino que puede transformarse en otras formas de energía. Esto ocurre continuamente en los procesos de colisión de la física de alta energía en los que partículas de materia se crean y se destruyen donde sus masas se transforman en energía y viceversa. Las colisiones de partículas subatómicas son nuestra principal herramienta para estudiar sus propiedades, y la relación entre masa y energía es esencial para describirlas. La equivalencia entre masa y energía ha sido verificada innumerables veces y los físicos se han familiarizado completamente con ella -tan familiarizados, de hecho que miden las masa de las partículas en sus unidades de energía correspondientes.

El descubrimiento de que la masa es una forma de energía ha tenido una profunda influencia en nuestra imagen de la materia y nos ha forzado a modificar nuestro concepto de partícula en una forma esencial. En física moderna, la masa ya no se asocia con una sustancia material, y de ahí que las partículas no se vean como constituidas por alguna “cosa” básica, sino como racimos de energía. La energía, sin embargo, esta asociada con actividad, con procesos, y esto implica que la naturaleza de las partículas subatómicas es intrínsecamente dinámica. Para entender mejor esto debemos recordar que estas partículas pueden concebirse solo en términos relativísticos, en términos de un marco donde espacio y tiempo estén fusionados en un continuo cuadri-dimensional. En tal marco, las partículas ya no se describen como pequeñas bolas de billar o como pequeños granos de arena. Estas imágenes son inapropiadas, no solo porque representan partículas como objetos separados, sino también porque son estáticas, imágenes tri-dimensionales. Las partículas subatómicas deben concebirse como entidades cuadri-dimensionales en espacio-tiempo. Sus formas han de entenderse dinámicamente, como formas en espacio y tiempo. Las partículas son patrones dinámicos, patrones de actividad que tienen un aspecto espacial y un aspecto temporal. Su aspecto espacial las hace aparecer como objetos con una cierta masa, su aspecto temporal como procesos que encierran la energía equivalente. Así, el ente de materia y su actividad no pueden separarse; son dos aspectos de la misma realidad espacio temporal.

La visión relativística de la materia ha afectado drásticamente, no solo nuestra concepción de partícula, sino también la figura de las fuerzas entre estas partículas. En una descripción relativística de las interacciones de las partículas, las fuerzas entre ellas -su atracción o repulsión mutua- se describen como intercambio de otras partículas. Este concepto es muy difícil de visualizar pero se requieren para entender los fenómenos subatómicos. Vincula las fuerzas entre constituyentes de la materia y las propiedades de otros constituyentes de la materia, y así unifica los dos conceptos, fuerza y materia, que parecían ser fundamentalmente diferentes en la física newtoniana. Tanto fuerza como materia se consideran ahora que tienen un origen común en los patrones dinámicos que llamamos partículas. Estos patrones de

energía del mundo subatómico forman las estructuras estables nucleares, atómicas y moleculares que construyen la materia y nos dan el aspecto sólido macroscópico, haciéndonos así creer de que esta hecho de alguna sustancia material. A nivel macroscópico esta noción de sustancia es una aproximación útil, pero a nivel atómico ya no tiene sentido. los átomos consisten de partículas y están partículas no están hechas de ninguna cosa material. Cuando las observamos nunca vemos sustancia alguna; lo que observamos son patrones dinámicos continuamente cambiando uno en otro -la danza continua de la energía.

Las dos teorías básicas de la física moderna han trascendido por tanto los aspectos principales de la visión cartesiana del mundo y de la física newtoniana. La teoría cuántica ha mostrado que las partículas subatómicas no son grados aislados de materia sino patrones de probabilidad, interconexiones en una red cósmica inseparable que incluyen al observador humano y su consciencia. La teoría de la relatividad ha dado vida a la red cósmica, por así decirlo, revelando su carácter dinámico intrínseco; al mostrar que su actividad es la esencia misma del ente. En física moderna, se ha trascendido la imagen del universo como una maquina a una visión de un todo indivisible, dinámico, cuyas partes están esencialmente interrelacionadas y pueden entenderse solo como patrones de un proceso cósmico. Al nivel subatómico las interrelaciones e interacciones entre las partes del todo son mas fundamentales que las partes mismas. Hay movimiento pero, en ultimas, no hay objetos en movimientos; hay actividad pero no hay actores; no hay danzantes, solo hay danza.

La investigación actual en física intenta unificar la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad en una teoría completa de las partículas subatómicas. Aun no hemos sido capaces de formular tal teoría completa pero tenemos varias teorías parciales o modelos, que describen muy bien ciertos aspectos de los fenómenos subatómicos. Al presente hay dos tipos diferentes de teorías “cuántico-relativísticas” en física de partículas que han tenido éxito en áreas diferentes. El primero es un grupo de teorías de campo cuántico que se aplican a interacciones electromagnéticas y débiles; el segundo es la teoría conocida como la teoría de la matriz S, que ha tenido éxito en describir las interacciones fuertes. De estos dos enfoques, la teoría de la matriz S es mas relevante al tema de este libro, ya que tiene profundas implicaciones para la ciencia como un todo.

El fundamento filosófico de la teoría de la matriz S se conoce como el enfoque bootstrap. Lo propuso Geoffrey Chew al comienzo de los años sesenta, y el y otros físicos lo han usado para desarrollar una teoría completa de las partículas que internacional fuertemente, junto con una filosofía mas general de la naturaleza. De acuerdo a esta filosofía de bootstrap la filosofía no puede reducirse a entidades fundamentales, como ladrillos de materia fundamentales, sino que debe entenderse enteramente a través de auto-consistencia. Toda la física debe seguir unívocamente del requisito de que sus componentes sean consistentes unos con otros y con ellos mismos. Esta idea constituye una partida radical del espíritu tradicional de la investigación básica en física que siempre había sido propensa a encontrar constituyentes fundamentales de la materia. Al mismo tiempo es la culminación del concepto del mundo material como una red interconectada de interrelaciones que emerge de la teoría cuántica. La filosofía del bootstrap no solo abandona la idea de ladrillos fundamentales de materia, sino que rechaza cualquier entidad fundamental -constantes fundamentales, leyes o ecuaciones. El universo se ve como una red dinámica de eventos interrelacionados. Ninguna de las propiedades de alguna parte de esta red es fundamental; todas se siguen de las propiedades de otras partes y la consistencia global de sus interrelaciones determina la estructura de la red completa.

El hecho de que el enfoque bootstrap no acepte entidad fundamental alguna, lo hace, en mi opinión, uno de los sistemas mas profundos del pensamiento fundamental elevándolo al nivel de la filosofía budista o taoista. Al mismo tiempo es un enfoque muy difícil para la física, seguido solo por una pequeña minoría de los físicos. La filosofía bootstrap es demasiado foránea a las formas tradicionales de pensamiento para que sea seriamente apreciada, y esta falta de apreciación se extiende también a la teoría de la matriz S. Es curioso que aunque los conceptos básicos de la teoría los usan los físicos de partículas cuando analizan los resultados de las colisiones de partículas y los comparan con sus predicciones teóricas, ningún premio Nobel hasta ahora se ha concedido a algunos de los prominentes físicos que contribuyeron al desarrollo de la teoría de la matriz S en las dos ultimas décadas.

En el marco de la teoría de la matriz S, el enfoque bootstrap intenta derivar todas las propiedades de las partículas y sus interacciones únicamente a partir del requisito de auto-consistencia. Las únicas leyes “fundamentales” aceptadas son unos pocos principios generales que se requieren por los métodos de observación y son partes esenciales del marco científico. Todos los otros aspectos de la física de partículas se espera que emerjan como consecuencia necesaria de la auto-consistencia. Si este enfoque puede llevarse a cabo con éxito, las implicaciones filosóficas serán muy profundas. El hecho de que todas las propiedades de las partículas estén determinadas por principios íntimamente relacionados a los métodos de observación significaría que las estructuras básicas del mundo material están determinadas, en últimas, por la forma en que miramos al mundo; que los patrones observados de la materia son reflejo de los patrones mentales.

Los fenómenos del mundo subatómico son tan complejos de que no hay certeza alguna de que una teoría auto-consistente completa pueda alguna vez construirse, pero podemos vislumbrar una serie de modelos parcialmente exitosos de alcance menor. Cada uno de ellos pretende cubrir solo parte de los fenómenos observados y contendría algunos aspectos inexplicados, o parámetros, pero los parámetros de un modelo podrían ser explicados por otro. Así, mas y mas fenómenos podrían cubrirse gradualmente con exactitud creciente por un mosaico de modelos que encajan cuyo numero neto de parámetros inexplicados se iría reduciendo. El adjetivo “bootstrap” nunca es, por tanto, apropiado para ningún modelo individual, sino que debe aplicarse solo a una combinación de modelos mutuamente consistente, ninguno mas fundamental que otro. Chew explica sucintamente: “Un físico que es capaz de ver un numero de diferentes modelos parcialmente exitosos sin favoritismos es automáticamente un bootstraper”.

El progreso en la teoría de la matriz S fue firme pero lento hasta que varios desarrollos importantes de los últimos años produjeron un gran adelanto, que hizo muy posible que el programa bootstrap para las interacciones fuertes se completaran en el futuro cercano y que pudieran también extenderse con éxito a las interacciones electromagnéticas y débiles. Los resultados han generado gran entusiasmo entre los teóricos de la matriz S y es muy posible que fuerce a los resto de la comunidad de físicos a reevaluar su actitud hacia su enfoque bootstrap.

El elemento clave de la nueva teoría bootstrap de partículas subatómicas es la noción de orden como un aspecto nuevo e importante de la física de partículas. Orden, en este contexto, significa orden en la interconectabilidad de los procesos subatómicos. Ya que hay varias formas en que los eventos subatómicos pueden interconectarse, se pueden definir varias categorías de orden. El lenguaje de la topología -bien conocida por los matemáticos pero nunca antes aplicada a la física de partículas- se usa para clasificar estas categorías de orden. Cuando se incorpora este concepto de orden al marco matemático de la teoría de la matriz S, resultan solo unas pocas categorías especiales de relaciones ordenadas consistentes con ese marco. Los patrones que resultan de las interacciones de partículas son precisamente los observados en la naturaleza.

La figura de partículas subatómicas que emergen de la teoría bootstrap pueden resumirse en la provocativa frase “Cada partícula consiste de todas las otras partículas”. No se debe imaginar, sin embargo, que cada una de ellas contenga todas las otras en un sentido estático y clásico. Las partículas subatómicas no son entidades separadas sino patrones de energía interrelacionados en un continuo proceso dinámico. Estos patrones no se “contienen” uno a otro sino mas bien se “involucran” uno a otro en forma tal que pueda dárseles un significado matemático preciso pero no se pueda expresarlos fácilmente en palabras.

El surgimiento de orden como un concepto nuevo y central en la física de partículas no solo condujo a un gran avance en la teoría de la matriz S sino que bien puede tener implicaciones para la ciencia como un todo. El significado de orden en física subatómica es aun oscuro, y aun se desconoce el grado en que pueda incorporarse al marco de la matriz S, pero nos intriga recordar que la noción de orden juega un papel muy básico en el enfoque científico de la realidad y es un aspecto crucial de todos los métodos de observación. La habilidad de reconocer el orden parece ser un aspecto esencial de la mente racional; cada percepción de un patrón es, en cierto sentido, una percepción de orden. La clarificación del concepto de orden en un campo de la investigación donde patrones de materia y patrones mentales se reconocen cada vez mas como reflexiones de uno en otro promete abrir fronteras fascinantes al conocimiento.



Otras expresiones del enfoque bootstrap en física subatómica posiblemente tendrán que ir mas allá del marco actual de la teoría de la matriz S, que ha sido desarrollada específicamente para describir las interacciones fuertes. Para ampliar el programa bootstrap deberá encontrarse un marco mas general, en el que algunos de los conceptos que ahora se aceptan sin explicación tendrán que ser “bootstrapped”, derivado de la auto-consistencia global. Estos pueden incluir nuestra concepción del espacio-tiempo macroscópico y, quizá, aun nuestra concepción de la consciencia humana. Un aumento en el uso del enfoque bootstrap abre la posibilidad sin precedentes de ser forzados a incluir el estudio de la consciencia humana en forma explícita en las futuras teorías de la materia. La cuestión de la consciencia ya ha surgido en teoría cuántica en conexión con el problema de la observación y la medida, pero la formulación pragmática de la teoría que los científicos usan en su investigación no se refiere a la consciencia explícitamente. Algunos físicos arguyen que la consciencia puede ser un aspecto esencial del universo, y que podemos sustraernos de un mayor entendimiento de los fenómenos naturales si insistimos en excluirla.

Actualmente hay dos enfoques en física que están muy cerca de tratar la consciencia explícitamente. Uno es la noción de orden en la teoría de la matriz S de Chew; el otro es una teoría desarrollada por David Bohm, quien sigue un enfoque mucho mas general y mucho mas ambicioso. El punto de partida de Bohm es la noción de “totalidad entera” y su propósito es explorar el orden que le cree es inherente a la red cósmica de relaciones a un nivel mas profundo, “no manifiesto”. El llama este orden “implicado” o “encerrado”, y lo describe por la analogía de un holograma en el que cada parte, en cierto sentido, contiene el todo. Si se ilumina cualquier parte de un holograma se reconstruirá la imagen entera, aunque mostrara menos detalle que la imagen obtenida del holograma completo. En el punto de vista de Bohm el mundo real se estructura de acuerdo a los mismo principios generales, con el todo encerrado en cada una de sus partes.

Bohm se da cuenta de que el holograma es demasiado estático para usarse como modelo científico del orden implicado a nivel subatómico. Para expresar la naturaleza dinámica esencial de la realidad a este nivel el acuñó el término “holomovimiento”. En su punto de vista el holomovimiento es un fenómeno dinámico del que fluyen todas las formas del universo material. El objetivo de su enfoque es estudiar el orden encerrado en este holomovimiento, no por tratar la estructura de los objetos, sino mas bien la estructura del movimiento, tomando así en cuenta la unidad y la naturaleza dinámica del universo. Para entender el orden implicado Bohm encontró necesario considerar la consciencia como un factor esencial del holomovimiento y tomarla en cuenta explícitamente en su teoría. El ve mente y materia como interdependientes y correlacionados, pero no conectados causalmente. Son proyecciones mutuamente envolventes de una realidad mayor que ni es materia ni es consciencia.

La teoría de Bohm es aun tentativa, pero parece haber una extraña familiaridad, aun en etapa preliminar, entre su teoría de orden implicado y la teoría de la matriz S de Chew. Ambos enfoques se basan en una visión del mundo como una red de relaciones dinámicas; ambos atribuyen un papel central a la noción de orden; ambos usan matrices para representar cambio y transformación, y topología para clasificar las categorías de orden. Por ultimo ambas teorías reconocen que la consciencia bien puede ser un aspecto esencial del universo que tendrá que incluirse en una futura teoría de los fenómenos físicos. Tal teoría futura bien puede surgir de la unión de las teorías de Bohm y de Chew, que representan dos de los enfoques contemporáneos de la realidad física mas imaginativos y profundos filosóficamente.

Mi presentación de la física moderna en este capítulo se ha visto influenciada por mis creencias personales y afectos. He enfatizado ciertos conceptos y teorías que aun no son aceptados por la mayoría de los físicos, pero que considero filosóficamente significativos, de gran importancia para otras ciencias y para nuestra cultura como un todo. Cada físico contemporáneo, sin embargo, aceptara el tema principal de la presentación -que la física moderna ha trascendido la visión mecánica cartesiana del mundo y nos conduce a una concepción holística e intrínsecamente dinámica del universo.

Esta visión del mundo de la física moderna es una visión sistémica, y es consistente con los enfoques sistémicos que ahora surgen en otros campos, aunque los fenómenos estudiados por estas disciplinas no generalmente de naturaleza diferente y requieren conceptos diferentes. Al trascender la metáfora del mundo como una maquina, también

debemos abandonar la idea de la física como la base de todas las ciencias. De acuerdo al bootstrap o visión sistema del mundo, se deben usar conceptos diferentes pero mutuamente consistentes para describir aspectos diferentes y niveles de la realidad sin necesidad de reducir los fenómenos de cualquier nivel a los de otro.

Antes de que describa el marco conceptual de tal enfoque holístico y multidisciplinario de la realidad, encontraremos útil mirar como otras ciencias han adoptado la visión cartesiana del mundo y han modelado sus conceptos y teorías de acuerdo a los de la física clásica. Las limitaciones del paradigma cartesiano en las ciencias naturales y sociales puede también esclarecerse, y su exposición pretende ayudar a científicos y no científicos a cambiar sus filosofías básicas para que participen en la actual transformación cultural.

## NOTAS

1. W. Heisenberg, Citado en Capra (1975), p. 50.
2. W. Heisenberg, Citado *ibid.*, p. 67.
3. W. Heisenberg, Citado *ibid.*, p.67.
4. A. Einstein, citado *ibid.*, p. 42.
5. Vea el Capítulo 9.
6. Para una definición y descripción concisa de misticismo, vea Stace (1960), Capítulo 1
7. Actualmente algunas propiedades de partículas subatómicas, como la carga eléctrica o el momento magnético, parecen ser independientes de la situación experimental. Sin embargo, recientes desarrollos en física de partículas, que son discutidos abajo, indican que estas propiedades dependerían también de nuestros marcos de referencia de observación y de medida.
8. Vea Capra (1975), p. 160.
9. N. Bohr, citado *ibid.*, p. 137.
10. W. Heisenberg, Citado *ibid.*, p. 139.
11. Stapp (1971).
12. Bateson (1979), p. 17.
13. Estoy agradecido con Henry Stapp por una discusión sobre este punto; vea también Stapp (1972).
14. Vea Schilpp (1951); vea también Stapp (1972).
15. Vea Bohm (1951), pp. 614 ff.
16. Vea Stapp (1971); para una discusión de las implicaciones del teorema de Bell con respecto a la filosofía de A. N. Whitehead, vea Stapp (1979).
17. La siguiente presentación está basada en la discusión comprensiva del experimento EPR dado por David Bohm en Bohm (1951), pp. 614 ff.
18. Stapp (1971).
19. Vea Bohm (1951), pp. 169 ff.
20. Bohm (1951), pp. 169 ff.
21. Jeans (1930).
22. Para una discusión más detallada de este fenómeno y su relación con el principio de incertidumbre, vea Capra (1975), p. 192.
23. Las interacciones entre partículas subatómicas caen dentro de cuatro categorías básicas con marcadas diferencias en la fuerza de interacción: las interacciones fuerte, electromagnética, débil y gravitacional; vea Capra (1975), pp. 228 ff.
24. Vea Capra (1975) para una discusión más detallada de la teoría cuántica de campos y la teoría de la matriz-S.
25. *Ibid.*, pp. 286 ff.
26. G. F. Chew, citado *ibid.*, p. 295.
27. Vea Capra (1979a).
28. Bohm (1980).
30. La holografía es una técnica de fotografía de lentes basada en la interferencia de las ondas de luz. La “imagen” resultante es llamada un holograma; vea Collier (1968). Para una introducción comprensiva y no técnica al tema, vea Outwater y van Hamersveld (1974).

## BIBLIOGRAFIA

- Bateson, Gregory. 1972. *Steps to an Ecology of Mind*. New York: Ballantine
- Bateson, Gregory. 1979. *Mind and Nature*. New York: Dutton.
- Bohm, David. 1951. *Quantum Theory*. New York: Prentice-Hall.
- Bohm, David. 1980. *Wholeness and the Implicate Order*. London: Routledge & Michigan Press
- Capra, Fritjof. 1975. *The Tao of Physics*. Berkeley: Shambhala.
- Collier, Robert. 1968. "Holography and Integral Photography". *Physics Today*, July.
- Crosland, M. P., ed. 1971. *The Science Of Matter*. Baltimore: Penguin.
- Garber, Daniel. 1978. "Science and Certainty in Descartes." In Hooker, Michael, ed. *Descartes*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Heisenberg, Werner. 1962. *Physics and Philosophy*. New York: Harper & Row.
- Jeans, James. 1930. *The Mysterious Universe*. New York: Macmillan.
- Keines, John Maynard. 1951. "Newton the Man." In *Essays in Biology*. London: Hart-Davis
- Laing, R. D. 1982. *The Voice of the Experience*. New York: Pantheon.
- Merchant, Carolyn. 1980. *The Death of Nature*. New York: Harper & Row.
- Outwater, Christopher, and van Hamersveld, Eric. 1974. *Practical Holography*. Berverly Hills, Calif.: Pentagle Press.
- Randall, John Herman. 1976. *The Making of the Modern Mind*. New York: Columbia University Press.
- Rodis-Lewis, Geneviève. 1978. "Limitations of the Mechanical Model in the Cartesian Conception of the Organism." In Hooker, ed. *Descartes*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Schilpp, Paul Arthur, ed. 1951. *Albert Einstein: Philosopher- Scientist*. New York: Tudor
- Russell, Beltrand. 1961. *History of Western Philosophy*. London: Allen & Unwin.
- Sommers, Fred. 1978. "Dualism in Descartes: The Logical Ground." In Hooker, Michael, ed. *Descartes*. Baltimore: John Hopkins University Press.
- Stace, Walter T. 1960. *The Teachings of Mystics*. New York: New American Library.
- Stapp, Henry Pierce. 1971. "S-Matrix Interpretation of Quantum Theory." *Physical Review D*, March 15.
- Stapp, Henry Pierce. 1972. "The Copenhagen Interpretation." *American Journal of Physics*. August.

Vrooman, Jack Rochford. 1970. *René Descartes*. New York: Putnam.