

## **LAS PRÁCTICAS SOCIALES y EL SURGIMIENTO DE LA CIENCIA MODERNA**

Capítulo del libro *La ciencia y el imaginario social*, Ed. Biblos, Buenos Aires.

*Elba Coleclough, Claudia Mora y Juan Gabriel Wille<sup>1</sup>*

### **LOS FUNDAMENTOS METAFÍSICOS DE LA CIENCIA MODERNA**

Habitualmente suele reconocerse en el surgimiento de la moderna física matemática una revolución del pensamiento científico y ubicarse dicha revolución dentro del contexto de los cambios políticos, económicos y sociales, que entre los siglos XV a XVII se produjeron en Europa.

Sin duda, esto es correcto, no obstante, la dificultad aparece cuando se intenta determinar los motivos que produjeron dicha revolución. Porque los distintos autores no concuerdan al establecer cuáles fueron los hechos determinantes y cuáles los determinados, y así aparecen indefinidamente mezcladas causas con consecuencias en los análisis sobre el tema.

Una de las preocupaciones del pensamiento moderno fue la búsqueda de fundamentos. La ciencia también debía ser fundamentada. Es decir, debían buscarse argumentos racionales que dieran cuenta de un conocimiento (el científico) que -por sí mismo- sólo busca la contrastación empírica. El problema del fundamento se plantea en Galileo, que no es un filósofo, sino un científico que intenta comprender en qué consiste su tarea científica, intento en el cual hay siempre mucho de filosofía.

Uno de los hechos determinantes para el surgimiento de la física matemática fue la formulación de la **ley de inercia**. Porque el principio de inercia ocupa un puesto principal dentro de la mecánica moderna. No obstante, cabría hacerse la pregunta acerca de por qué la física moderna fue capaz de formular este principio. A la luz del sistema científico anterior, del sistema aristotélico más precisamente, esta idea no sólo era falsa, sino que además ni siquiera podría haber sido considerada debido a los supuestos ideales de los que partía.

Otra interpretación considera que lo determinante de la física moderna es la **manera de encarar la investigación**, es decir, el **método** que se ha de utilizar para abordar el estudio de la naturaleza. Anteriormente se recurría a fuentes y autoridades (Aristóteles o la Iglesia), mientras que en la modernidad se comienza a utilizar la observación directa de los hechos. Incluso el mismo Galileo, en sus escritos apela permanentemente a la experiencia, quejándose de quienes rechazan mirar la naturaleza por temor a descubrir en ella algo que contradiga las enseñanzas y teorías tradicionales. Es cierto que la cultura medieval recurre permanentemente al método de autoridades, pero este reproche no le cabe ni siquiera superficialmente al

---

<sup>1</sup> Claudia Mora es autora de "Los fundamentos metafísicos de la ciencia moderna", Elba Coleclough de "Un nuevo mundo, un nuevo hombre", y Juan Gabriel Wille de "La ciencia en la modernidad".

pensamiento de Aristóteles, el cual coincide mucho más con la observación de los hechos y con la experiencia que la obra de los científicos modernos, y son estos principios, los de la física aristotélica, los que ahora van a ser abandonados.

Por último, hay análisis que consideran que lo determinante de la física moderna es la **matematización de la naturaleza**. Matematizar la naturaleza significa considerar que todo cuerpo natural debe ser explicado en función de sus cualidades matemáticas -extensión, figura, número y movimiento-; mientras que en la *episteme* griega, los cuerpos debían ser explicados a través de sus cualidades sensibles -color, olor, sabor, etc.-. Sin embargo, otra vez cabría la pregunta acerca de cuáles fueron los factores que hicieron posible este carácter matemático de la ciencia moderna.

Ninguna de las características de la ciencia antes enunciadas explican los cambios que se produjeron en ella hacia el siglo XVII. Habrá que preguntar entonces por los motivos que hicieron posible dichas características. ¿Qué hizo posible el surgimiento de una ciencia nueva capaz de formular el principio de inercia, de utilizar el método experimental y de llevar a cabo la matematización del universo?

Lo que los fundadores de la ciencia moderna hicieron no fue sustituir ciertas teorías por otras sino algo mucho más profundo, sustituyeron la idea que se tenía de la naturaleza y la cambiaron por otra. Necesitaron entonces reformular la estructura de la razón para poder explicar el tipo de conocimiento propio de la ciencia moderna. Esto explica por qué el descubrimiento de principios y leyes que hoy parecen tan fáciles, claros y evidentes -como los de movimiento y caída libre de los cuerpos-, exigieron un esfuerzo tan inmenso durante varios siglos. La ciencia moderna, la ciencia de Galileo, no sigue progresivamente a su antecesora medieval sino que se coloca en un nivel absolutamente nuevo.

1. En lo que se refiere al sujeto, se produce un cambio radical de actitud, según el cual el mismo pasa a ocupar el lugar preponderante en el acto de conocimiento. En lugar de intentar descubrir los principios de orden que rigen la naturaleza en la observación de ésta, se somete la experiencia a ciertas leyes a priori que la razón se da a sí misma. La realidad debe concordar con estos principios que tienen la forma de esquemas matemáticos, porque en ellos radica justamente la explicación y el fundamento de la experiencia. El postulado básico de Galileo es que la experiencia ha de poder reducirse a esquemas matemáticos.
2. Pero este cambio de actitud en el sujeto determina al mismo tiempo un cambio en lo que ha de entenderse por el objeto que se estudia, esto es, por la naturaleza. Es en

virtud de este cambio que se sustituye la idea de un mundo cerrado y jerárquicamente ordenado por un universo abierto e infinito.

En efecto, en el mundo griego tiene sentido decir que un cuerpo está arriba y otro abajo porque existe un arriba y abajo absolutos, determinados en función del límite del espacio, que se entiende como una esfera cerrada. El lugar que ocupa cada cuerpo no es azaroso, sino que depende de su propia naturaleza, los pesados están abajo y los livianos arriba. También los colores, sonidos y sabores pertenecen a los cuerpos. Aristóteles establece una diferencia entre el mundo *sublunar* donde los cuerpos se mueven con movimiento rectilíneo, que es imperfecto, porque está limitado por un principio y un fin; y el mundo *supralunar*, donde el movimiento es eterno porque se trata de un movimiento circular. En el mundo *supralunar*, los cuerpos están formados por un elemento perfecto, el éter, que además es incorruptible, y producen en su movimiento una música celestial.

Este mundo de colores y sonidos bien establecidos y diferenciados es reemplazado por el espacio homogéneo e infinito de la geometría de Arquímedes. En dicho espacio los cuerpos no son otra cosa que magnitud; es decir, una suma de unidades una al lado de la otra. Estas unidades representan partículas de materia de las cuales ninguna tiene preponderancia sobre las demás. Esto explica que toda magnitud pueda reducirse a extensión, y que la determinación de los cuerpos no se realice por sus cualidades sensibles, sino por el lugar que ocupan en la pura magnitud espacial. Así, si atravesamos el espacio por dos ejes, vertical el uno (ordenadas) y horizontal el otro (abscisas), podremos, en función de estos ejes, determinar el lugar que ocupa cada una de las partículas que forman los cuerpos como un punto en el espacio. De este modo queda determinado espacialmente el cuerpo en su totalidad. Esta determinación de lo real según orden y medida es la única determinación posible cuando se han eliminado de la naturaleza todas las cualidades sensibles que la embellecían, y se las ha reducido a orden y medida. Así, por ejemplo, la física ha reducido los colores a la longitud de las ondas electromagnéticas que forman la luz, pero la longitud de onda es un número, no un color.

Volvamos ahora al principio de inercia para observar si es cierto que el mencionado doble fundamento subjetivo y objetivo está presente en él. El principio de inercia es muy simple: afirma que un cuerpo abandonado a sí mismo permanecerá en su estado de movimiento o reposo tanto tiempo como este estado no esté sometido a la acción de una fuerza exterior. Es decir, que un cuerpo en reposo permanecerá eternamente en reposo, a menos que sea puesto en movimiento por una fuerza exterior a él, y que un cuerpo en movimiento seguirá moviéndose en forma rectilínea y uniforme hasta que una fuerza exterior lo detenga.

Ahora bien, con relación al objeto -naturaleza-, ¿qué supone este principio?

1. La posibilidad de aislar al cuerpo del que se trata de su entorno físico y considerar su movimiento en el vacío.
2. Una concepción del espacio abierto e infinito, donde el cuerpo pueda desarrollar un movimiento infinito.
3. La idea de que tanto el movimiento como el reposo son estados del cuerpo que no se derivan de su naturaleza.

¿Era posible pensar tal movimiento en el cosmos cerrado y jerárquicamente ordenado de Aristóteles? Evidentemente, no.

1. El espacio de la *physis* griega se encuentra "ocupado" totalmente. No existe el vacío, así como no existe tampoco en el espacio real. El vacío es una construcción mental, un supuesto para poder pensar la inercia.
2. En un espacio cerrado sólo es posible un movimiento infinito: el movimiento circular, pero el principio de inercia habla del movimiento rectilíneo.
3. Los cuerpos ocupan un lugar en el espacio, el lugar que "les corresponde", por lo tanto su naturaleza exige estar en reposo en este lugar. Si se mueven es por el simple hecho de que están separados de su puesto, o de que intentan volver a él.

El principio de inercia, por lo tanto, hubiera sido absurdo en el cosmos griego.

Ahora bien, con relación al sujeto es evidente que este principio no es otra cosa que una construcción mental, un esquema matemático, porque un cuerpo moviéndose infinitamente en un espacio infinito no existe en ningún lado. Se trata de una estructura a priori con la cual, dejando de lado ciertos aspectos de la experiencia, por ejemplo el rozamiento, todo movimiento tiene que coincidir. Con lo cual se observa una característica muy curiosa de la moderna ciencia natural: el intento de explicar lo real por lo imposible.

Pasemos ahora al método de la nueva física, el llamado método experimental. ¿En qué consiste? En que la mente produce en sí misma, y por lo tanto de acuerdo con su propia ley un esquema coherente. Luego comprobará si la realidad, es decir la experiencia sensible, confirma los resultados que se obtienen de dicho esquema. Si el resultado es positivo, no cabe duda que los principios encontrados no surgieron de la observación, sino de la razón misma bajo la forma de una hipótesis a confirmar en los hechos. Si el resultado no se confirma, no por eso el esquema deja de ser correcto matemáticamente, es decir, coherente según la ley de la razón, lo que sucede es que no es la realidad de tal o cual fenómeno físico. Pero incluso la confirmación de un esquema no significa que el resultado tiene que coincidir con la observación empírica, por el contrario, se debe prescindir de ciertas variables y constituir una

situación determinada. Por ejemplo, el caso de una caída libre o de un deslizamiento sin rozamientos. Por eso los físicos modernos no se limitan a observar lo físico, sino que producen en lo físico ciertas condiciones. Para confirmar o descartar un esquema mental preestablecido tienen que producir en la realidad las condiciones de dicho esquema. A esta producción de condiciones controladas por el científico en la realidad la llamamos experimento.

Señalamos como tercera característica de la física moderna la matematización de la naturaleza. ¿Qué significa esta expresión? En principio que todo ente físico tiene que poder ser reducido a fórmulas, que no contengan otra cosa que operaciones con cantidades; por lo tanto, ha de tratarse con magnitudes. Sólo hay dos tipos de realidad que cumplen esta condición: la extensión en el espacio y la duración en el tiempo. El espacio y el tiempo son la magnitud pura, dentro de ellos se determinan cantidades. Pero ellos mismos carecen de toda determinación cualitativa. Son totalmente uniformes, y como toda cantidad se determina dentro de ellos, son anteriores a cualquier cantidad y por lo tanto infinitos.

Lo que puede ser determinado cuantitativamente en el espacio y el tiempo es lo que constituye el concepto moderno de materia. La materia es la realidad. En cambio, aquellas cualidades que no se pueden reducir a cantidades quedan excluidas de lo real, no pertenecen al objeto sino que se interpretan como dependientes de la peculiar constitución de nuestros órganos sensoriales. Son causadas por ciertas características de los objetos (tales como la longitud de onda para el caso de los colores, como se mencionó antes), pero nunca pueden ser consideradas como olores, colores o sonidos en sí mismos.

Ahora bien, observamos que el concepto de materia constituye lo objetivo por definición, es decir aquello que puede ser conocido. Este concepto, si bien es la traducción de la palabra griega *hyle*, es completamente distinto de ésta. Porque la *hyle* era justamente aquello irreductible al conocimiento mismo. Es decir, era el límite con el cual el conocimiento se enfrenta y que nunca puede penetrar. Mientras que los modernos, por el contrario, llamaron materia a un a priori matemático y pensaron que la realidad estaba constituida por ella.

De lo dicho se desprende que el concepto de materia para la física moderna no guarda relación ni se define por lo sensible. Es más bien el postulado absoluto de que la ley de la mente se cumple en la realidad. Es la condición que se impone de antemano a la experiencia; un a priori, un esquema matemático con el cual la mente opera.

### **UN NUEVO MUNDO, UN NUEVO HOMBRE**

Se puede considerar en rasgos generales que el régimen feudal (siglos V al XN) es el representativo de la Edad Media y que este sistema económico, político y social, más aún, el

mundo del hombre medieval, comienza a desmoronarse lentamente luego de las cruzadas (1095-1270). Éstas originan, entre otras transformaciones importantes, el surgimiento de un nuevo grupo social: la burguesía, dedicada al comercio y a las artesanías, afincada en las ciudades o burgos, y cuya característica distintiva era su libertad respecto de las viejas estructuras sociales.

El Siglo XIV es un siglo de crisis, sacudido por guerras y epidemias (como la peste negra en 1348) que cobraron miles de víctimas. En el aspecto económico se puede observar un desplazamiento progresivo del centro comercial hacia el océano Atlántico, con el consiguiente desarrollo de nuevos focos de actividades económicas. Hay, además, mayor vinculación de la política: el dictado de leyes proteccionistas por parte de los monarcas significa el origen de la formación y conformación de las nacionalidades. Además, las catástrofes climáticas, unidas a la falta de extensión de los cultivos cerealeros (debido quizá a la exigencia de sembrar plantas textiles y tintóreas por parte de una industria que se hallaba en pleno desarrollo) y a las dificultades para el transporte terrestre de alimento, hacen que el hambre asole y diezme poblaciones. Otro de los azotes sufridos fueron las guerras (por ejemplo la de los Cien Años y la de ingleses y escoceses) y los conflictos internos (en España, Italia, etc.) Se producen entonces migraciones, se incrementan los desórdenes sociales y las revueltas de los campesinos contra los señores feudales y surge el bandolerismo organizado.

(...) A lo largo del siglo XV y principios del XVI se advierte una lenta reconstrucción económico-social debido a las mejoras que se produjeron en la producción agrícola gracias a la inversión de capitales -obtenidos por el comercio- en tierras y adelantos técnicos, y a la ampliación de los intercambios urbanos, con lo cual las corporaciones de mercaderes se beneficiaron e intentaron monopolizar el comercio y las rutas comerciales en su provecho.

Los burgueses acumularon capitales importantes que se derivaron a las actividades bancarias. Además, participaron en la producción encargando trabajos a los artesanos y campesinos, especialmente en actividades textiles.

Surge así una cultura mercantil, principalmente en las ciudades de Italia y Flandes, con una nueva escala de valores y una desacralización de la existencia.

Este breve bosquejo histórico permite inferir que las fuerzas económicas y sociales que caracterizan a la modernidad ya están presentes en los siglos XII, XIII y XIV. Pero es en el Renacimiento cuando se produce la primera fractura socio-cultural entre ambas épocas y se dan los elementos que luego evolucionarán hacia nuevas formas políticas.

En la sociedad de la Alta Edad Media predomina la estabilidad en todos los aspectos. El centro económico está dado por la posesión de tierras; las clases sociales (clero, nobleza, siervos) están bien delimitadas y hay escasa movilidad social. El poder político está

consagrado por la religión, que impregna todos los aspectos de la vida. Aún las actividades económicas están subordinadas a la necesidad de salvación del hombre y a los preceptos morales: el lucro y la usura son considerados pecados. La organización gremial evitaba la competencia. Todo está regulado en la vida personal y social, las relaciones son comunitarias y existe la solidaridad. El universo, concebido en forma geocéntrica, limitada y sencilla, da tranquilidad y seguridad al hombre medieval y le ofrece el marco de referencias necesario para desarrollar su yo concreto en el trabajo y en la vida diaria. Este hombre se siente fusionado con el cosmos, que tiene además un significado simbólico. Su vida tiene sentido, está identificado con el rol social que debe desempeñar. No posee conciencia de su individualidad sino sólo como miembro del grupo social.

La aparición de la burguesía -junto con el desarrollo de las actividades comerciales y el surgimiento de la economía monetaria- quiebra el sentido dado al universo medieval. El centro económico se desplaza ahora a la ciudad con su dinamismo incesante. Poco a poco, el burgués primero y luego el resto de las capas sociales, rompen los lazos con todo lo que significaba la autoridad medieval. Desde ese momento, todo se ordena a partir del individuo: la libre competencia; la acumulación de capitales; el realismo calculador que desencanta al mundo y que pone la inteligencia y la razón al servicio de fines exteriores a la persona; las relaciones de trabajo objetivadas y la expansión territorial del espíritu comercial son algunos de los nuevos elementos que operan en la sociedad. Este proceso se da tempranamente en las ciudades comerciales italianas, como por ejemplo Florencia, Venecia y Génova, donde la burguesía, ya poseedora de grandes capitales, ejerce el poder político y desplaza a la nobleza (Constitución de Florencia de 1293). El dinero y una economía ordenada racionalmente, con visión lejana y con trabajo disciplinado, constituyen la base de la dinámica social.

La nobleza, desplazada en un principio, se acomoda luego a las nuevas condiciones, se dedica a las actividades comerciales y se asocia política y económicamente con los burgueses. El aspecto esencialmente nuevo en este proceso es la inversión de capitales y el paso a una economía de adquisición, lo que desarrolla el espíritu de empresa y crea un "arte" económico, político y guerrero. Hay una estrecha relación entre política y economía: el carácter cosmopolita del dinero posibilita la política exterior y, a la vez, la expansión territorial y consolidación del Estado. El factor económico es determinante en las decisiones políticas: se desarrolla la ciencia política y la profesión militar. Incluso la guerra es considerada como un negocio.

Si bien la Iglesia fue el factor de cohesión, organización y centralización de la vida en Occidente, no permanece ajena a estos cambios: crea su propio Estado y, por necesidades monetarias, interviene directamente en luchas políticas. En los siglos XIV y XV la unidad

religiosa estaba aparentemente intacta pero sus cimientos se tambaleaban. Las disputas filosóficas y teológicas en el propio seno de la Iglesia y la crisis del Papado se expresan claramente en el Cisma de Occidente (1378-1417), con la coexistencia de dos Papas -uno francés (en Aviñón) y otro italiano (en Roma)- que divide la cristiandad y cuestiona la autoridad papal, no sólo en el nivel de la monarquía sino también en el nivel popular. Esto trae como consecuencia el desarrollo de herejías y diversos planteos que el Concilio de Trento (1414) resuelve en el aspecto teológico, nombrando un Papa romano. Pero el desprestigio estaba latente.

La injerencia cada vez mayor de las autoridades eclesiásticas en los asuntos internos de los Estados, sumada a la entrega indiscriminada de indulgencias (donde las infracciones morales se arreglaban con dinero) produce una escisión: la Reforma de Lutero en 1517.

Esta concepción religiosa aporta algunos elementos interesantes: a) la salvación del hombre sólo por la fe (y no por las obras), que implica la sumisión total a la voluntad divina; b) la teoría de la predestinación desarrollada por Calvino, cuya prédica estaba orientada a la clase burguesa conservadora de Ginebra y luego se extendió a Francia, Holanda e Inglaterra, y que afirma que Dios predestina con su gracia a algunos hombres.

Esto implica que la salvación o condena no son el resultado del buen o el mal obrar del hombre sino designios divinos, decididos antes que éste llegue a nacer. El hombre no puede cambiar la decisión de Dios. Hay entonces una desigualdad básica entre los seres humanos: unos predestinados a salvación, otros a condenación. Esto trae como consecuencia la consideración del éxito en la vida terrenal (negocios y trabajos) y en la vida moral como signos de salvación. Se enfatiza el esfuerzo del trabajo como herramienta para lograr ese éxito. El hombre queda sometido entonces a la actividad laboral y hay una progresiva pérdida de solidaridad. Estos aspectos de la Reforma inciden en el desarrollo del capitalismo, que perdura, transformado, hasta nuestros días.

Como respuesta al protestantismo, la Iglesia Católica inicia un movimiento de renovación y revitalización de su teología que se expresa en la Contrarreforma.

No se debe olvidar que en la península ibérica se había logrado la unión espiritual bajo la fe católica con Isabel de Castilla y Fernando de Aragón, quienes expulsaron de sus territorios a los judíos y los moros que no abjuraron de su religión (1492-1502). Esta depuración religiosa fue lograda con la ayuda del Tribunal del Santo Oficio o Inquisición.

Estos factores originan las persecuciones religiosas, la lucha contra las herejías y las cacerías de brujas, tanto en territorios católicos cuanto protestantes, a lo largo del siglo XVI y la primera mitad del XVII. Los procesos contra las hechiceras y la quema en la hoguera de brujas eran muy frecuentes y estaban apoyados o directamente promovidos por las

autoridades eclesiásticas. Como dato ilustrativo se señala que, entre 1615 y 1619, la madre del astrónomo Johannes Kepler es acusada de brujería y encarcelada. La intolerancia de la Iglesia se extiende también a las ideas científicas. Es así como Galileo Galilei debe enfrentar a la Santa Inquisición y es obligado a retractarse de sus afirmaciones sobre el movimiento de la Tierra y la inmovilidad del Sol, porque no coinciden con la interpretación de las Sagradas Escrituras.

De este complejo entramado social surge un nuevo hombre, desligado de la tradición moral y religiosa medievales, con anhelos de fama, prestigio, poder y predominio de la razón en todos sus actos. El tiempo adquiere un nuevo valor: se inventan los relojes mecánicos que marcan los minutos con exactitud. El hombre virtuoso es metódico, ordenado, trabajador y buen administrador del cuerpo, de la mente y del tiempo. Se eleva como categoría máxima el obrar libre del ser humano y la vida se desentiende de los valores religiosos.

El mundo se organiza según principios racionales. Es necesario conocer la naturaleza y sus leyes para dominarla. El saber también debe ser útil, aplicable, práctico. El cálculo exacto todo lo invade: incluso la naturaleza es interpretada matemáticamente y despojada de sus cualidades sensibles. Lo esencial es lo mensurable. La ciencia, además de instrumento para el dominio de la naturaleza, es una herramienta eficaz en la lucha por el poder y se une al trabajo industrial para resolver problemas prácticos de náutica, construcción de barcos y edificios, y también para la invención y perfeccionamiento de armas de fuego utilizadas como expresión del dominio político.

En el arte pictórico nace la perspectiva geométrica, que permite la profundidad: esta técnica implica el uso del cálculo matemático lineal y de diseños geométricos de las obras. En escultura, los planos helicoidales dan un nuevo dinamismo a las obras. El artista es también artesano y técnico, investigador de la naturaleza (que también es objeto de goce estético) y matemático. Se impone el genio creador y el individualismo.

El Renacimiento representa, entonces, el surgimiento de la individualidad. Pero, por otra parte, esta liberación de todo tipo de autoridad tradicional (aún cuando se apoye en los clásicos greco-latinos) deja al hombre abandonado a sus propias fuerzas. No hay seguridad alguna ni en el mundo del trabajo ni en el mundo del conocimiento. El universo es ahora infinito y la Tierra ya no es su centro sino una pequeña parte de él. La duda aparece como el origen profundo de la actividad filosófica y el subjetivismo, que a veces se transforma en solipsismo o apenas en una creencia en la existencia de un mundo exterior al sujeto. El deseo de acallar la duda constituye el incentivo para el desarrollo del saber moderno. El individuo se aísla, se siente solo; desconfía de los demás. Esta inseguridad hace que esté psicológicamente

preparado para transformar su vida en un medio para fines exteriores a sí mismo, sean éstos la productividad económica, la acumulación de capital o el servicio a un Estado absolutista.

## **LA CIENCIA EN LA MODERNIDAD**

Si bien es cierto que la ciencia moderna comienza con Galileo Galilei y su método experimental, la ruptura con la explicación científica tradicional -la aristotélica- se remonta a la Baja Edad Media. En la nueva concepción, el hombre puede intervenir y guiar a la naturaleza para su provecho, suponiendo que el orden del mundo se expresa en leyes racionales, y que existe un correlato matemático-geométrico fundado en la razón divina, entre la razón humana y la racionalidad de los fenómenos naturales.

### ***LA RUPTURA DEL MUNDO ARISTOTÉLICO***

Aristóteles caracteriza el universo como un mundo cerrado, finalista, con sus movimientos e impulsos propios, que el hombre no puede alterar.

La cosmología aristotélica sostiene que los cuerpos celestes son esféricos y se mueven en círculos en torno de una Tierra fija, también esférica. El último círculo contiene la "esfera de las estrellas fijas", que mantenían siempre una misma postura relativa.

Su explicación de la realidad física divide el mundo en dos regiones cualitativamente diferenciadas: una región sublunar y otra supralunar. En la primera, los movimientos naturales son rectilíneos y verticales; el movimiento rectilíneo horizontal sólo se atribuye a una causa violenta. Los cuerpos tienden a buscar su *lugar natural*: los pesados van hacia abajo y los livianos hacia arriba, según su grado de perfección.

En la región supralunar, la Luna, el Sol y los cinco planetas entonces conocidos – Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno-, así como las estrellas fijas, describen un único movimiento, el circular, porque están compuestos por una materia sutil, mucho más perfecta, a la que Aristóteles llama *éter* o *quintaesencia*.

La perfección absoluta, a la que todos los cuerpos tienden, tanto en una región como en la otra, es el *primer motor inmóvil*, que se define como el pensamiento puro que sólo se piensa a sí mismo. Este motor inmóvil no sufre ninguna clase de cambio porque es la perfección misma. Es el Dios aristotélico, que no crea el mundo ni se ocupa de él, pero a cuya perfección aspiran todas las cosas naturales. Por eso actúa como una causa final (*telos*) y como explicación última de todo movimiento. Esta característica convierte al sistema aristotélico en una teleología. Esto quiere decir que todos los seres persiguen un fin (*telos*), y ese fin es la perfección.

En el siglo II de nuestra era, el astrónomo Claudio Ptolomeo perfecciona la cosmología aristotélica, justificando las anomalías que presentaba mediante una complicada teoría sobre el curso de los planetas: los epiciclos y los deferentes. La explicación aristotélica de las órbitas circulares no coincidía con los datos de la observación natural. Durante ciertas épocas del año, los planetas parecían retroceder en su evolución hacia el Este. Ptolomeo modifica el trazado de la órbita, discriminando su curso general, al que llama 'deferente', de una desviación parcial - también circular- a la que llama 'epiciclo'.

Sin embargo, desde el siglo IV a.C. existían otras explicaciones cosmológicas. Heráclides de Ponto (siglo IV a.C.) -discípulo de Platón- hacía girar en torno del sol a dos "planetas" (la palabra significa 'errante'), Mercurio y Venus. Un siglo más tarde, Aristarco de Samos (310a.C.-250 a.C.) afirma el heliocentrismo total, esto es, considera que el centro del universo no es la Tierra sino el Sol. Pero durante muchos siglos ello no fue verdad para nadie.

Nicolás de Cusa ( 1401-1464) indica la movilidad y redondez de la Tierra y rompe en pedazos la esfera de las estrellas fijas, haciéndolas flotar en un espacio sin límites.

Pero es Nicolás Copérnico el que produce la revolución, el cambio de perspectivas. Es quien abre al hombre del Renacimiento a una conciencia cósmica. El centro del sistema lo ocupa el Sol y no la Tierra, que gira en torno de aquél como cualquier otro planeta. Copérnico afirma esto no como resultado de observaciones y medidas, sino por su fe en la racionalidad del mundo. Dos motivos tiene para sentar su doctrina: uno, la influencia platónica y estetizante, que obliga a poner al mayor y más bello de los astros en el centro del mundo; el otro, establecer un sistema relativamente sencillo en lugar de la artificiosa complejidad del sistema ptolomeico.

Pero todavía Copérnico guarda el esquema aristotélico de las órbitas circulares de los planetas en torno del Sol. Deberían llegar Johannes Kepler ( 1571-1630) y Tycho Brahe ( 1546-1601 ) para que la construcción de Copérnico fuera completada por la trayectoria elíptica de los planetas. Las leyes de Kepler le servirán más adelante a Newton como base para su teoría matemática de la gravitación universal. ...

#### ***LAS CARACTERÍSTICAS DE LA CIENCIA MODERNA***

En este punto irrumpe Galileo Galilei marcando las características de la ciencia moderna. Revitaliza el sistema copernicano con los aportes de Kepler, sustentándolo a partir del uso del telescopio, perfeccionado por él mismo.

Sin embargo, la época de Galileo no resultó tan tolerante a las cosmologías de origen platónico como la de sus predecesores. La Iglesia Católica, sacudida por la Reforma protestante (iniciada por Lutero y Calvino, y que se extendió sobre todo en el norte de

Europa), concentraba la defensa de su poder en la pretensión de ser la única autoridad capaz de interpretar las Sagradas Escrituras.

La teoría heliocéntrica contradecía algunos pasajes bíblicos como, por ejemplo. Génesis 1. 17 y Josué 10, 12-14. que afirmaban el movimiento del Sol en torno de la Tierra. Galileo argumentó la necesidad de distinguir en el texto bíblico los párrafos que se referían a cuestiones de fe -en las cuales la autoridad de la Iglesia le resultaba indiscutible- de los que describían cuestiones naturales. Como la Biblia no es un texto científico sino que su finalidad es la salvación de las almas, Galileo planteaba la posibilidad de que estuviera escrita en un lenguaje metafórico, comprensible para los hombres comunes. El conocimiento de la naturaleza, según su criterio, no debía depender de estas metáforas sino de los instrumentos que Dios mismo había puesto en el hombre para entenderla: la razón y los sentidos.\_

Este razonamiento guardaba demasiada semejanza con las tesis luteranas sobre la libre interpretación de la Biblia como para ser aceptado por la Iglesia de la época. La Santa Inquisición ya había advertido a Galileo sobre el peligro de sus afirmaciones. En 1633 lo condenó "*como sospechoso de herejía, esto es, de haber creído y sostenido que el Sol es el centro del universo y que es inmóvil, y que la Tierra no es el centro del Universo y que se mueve*". Galileo abjuró de sus teorías.

Otro aspecto de la ciencia moderna que se registra en Galileo es la utilización de entes teóricos como el vacío, el plano infinito y la suposición de cuerpos no afectados por fuerza alguna. La característica fundamental de esta ciencia es su preconcepción racional de la naturaleza: la determinación a priori de las propiedades de la corporeidad. En *Il saggiatore*, Galileo sostiene que el libro de la naturaleza "*está escrito en lengua matemática, y los caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas, sin cuyo medio es imposible humanamente entender una palabra*".

Si bien en una de sus cartas Galileo protesta la necesidad de realizar "minuciosísimas observaciones" en apoyo de los principios racionales que explican los fenómenos naturales, en realidad su concepción de la física implica que la demostración racional de la teoría no sólo es la única guía que da sentido a la observación, sino que incluso puede prescindir de ésta. Éste es el primer síntoma del modelo matemático -del griego *mathesis*, conocimiento, ciencia- que impregna al saber de la época.

El método experimental es especulativo, matemático y empírico. Es especulativo porque se concibe la teoría como un conjunto de hipótesis en las que se supone un carácter de la realidad. Es matemático porque despliega a priori los contenidos de ese saber. Por último, es empírico porque pretende encontrar en el experimento -predeterminado por la razón- su vinculación con los hechos.

Algunos éxitos del método galileano fueron el "vacío torriceliano", el principio del barómetro (1644), la creación artificial del vacío por Otto von Guericke (1602-1686), la noción de elemento -sustancia simple, indescomponible e intransmutable- fundamental para la química de Robert Boyle (1627 -1691), y la explicación mecánica de la circulación de la sangre de William Harvey (1578-1657), contra el antiguo concepto estático del organismo.

#### ***LOS PRINCIPIOS MATEMÁTICOS DE LA CIENCIA MODERNA***

Kepler brinda los primeros principios matemáticos de los astros, que no se aplican a los fenómenos terrestres. Galileo descubre la ley dinámica de estos últimos. Crear el fundamento de la mecánica celeste y reunirlo con la terrestre fue obra de Isaac Newton. Tres son sus aportes fundamentales: la invención del cálculo infinitesimal; la formulación de la ley de la gravitación universal y la comprobación de que la luz blanca es compuesta.

En cuanto al primer punto, Newton sintetiza toda una larga tradición matemática que arranca desde Arquímedes (287-212 a.C.) y pasa por las investigaciones analíticas de Descartes. Newton da las reglas del nuevo cálculo diferencial e integral. Independientemente de él, el filósofo y matemático alemán Gottfried Leibniz encuentra los principios y el algoritmo del nuevo método. Ambos tienen el mérito de haber creado el cálculo infinitesimal.

El segundo aspecto importante del trabajo de Newton se refiere a la fuerza que provoca la caída de los cuerpos sobre la Tierra. Esta fuerza podía estar presente en el Sol y determinar el movimiento de los planetas. La antigua dualidad de una mecánica sublunar y otra cósmica se disuelve: ahora sólo habrá una mecánica, a la vez terrestre y celeste. La fuerza atractiva se refleja en la fórmula

$$\frac{G M m}{r^2}$$

donde M es la masa del Sol; m la del planeta; r la distancia que los separa, y G una constante cuyo valor numérico depende de las unidades utilizadas para medir masas y distancias. Suprema generalización la de que la ley de la fuerza atractiva actúa entre dos cuerpos cualesquiera sean, en cualquier lugar del espacio.

Con la obra fundamental de Newton, *Principios matemáticos de la filosofía natural*, aparecida en 1687, nace la física teórica.

Con respecto al tercer punto, Newton probó con cuidadosos experimentos que la luz blanca, al atravesar un prisma, se dispersa en rayos de colores. Cada uno de éstos, al pasar nuevamente por un prisma, no se descompone, pero si todos juntos vuelven a pasar por el

prisma, se reconstruye la luz blanca. Este hecho confirmaba la suposición de que los fenómenos físicos son reversibles.

Newton pensaba que la luz se propagaba en forma de corpúsculos. Su contemporáneo Christian Huygens (1629-1695) sostuvo la teoría ondulatoria. Hoy en día, el descubrimiento de nuevos fenómenos lleva a una conciliación entre ambas doctrinas.

### ***DESPUÉS DE NEWTON***

La obra newtoniana ilustra los finales del siglo XVII y comienzos del XVIII. Muchos de los problemas subsiguientes fueron sugeridos por los *Principios...* Unos pedían solución; otros, verificación. Quedaban pendientes; por ejemplo; la forma de la Tierra, la masa y densidad de nuestro planeta, el valor constante de la gravitación y la cuestión de las órbitas elípticas de los planetas. En este orden, Pierre Moreau de Maupertuis (1698-1759). Henry Cavendish (1731-1810) y Edmund Halley (1656-1742) intentan dar solución a esos problemas. La obra clásica de J .L. Lagrange (1736-1813), *Mecánica analítica*, condensa, en pocas fórmulas generales, los problemas de la mecánica en esquemas simples y claros.

La figura descollante entre los mecanicistas es sin duda Pierre S. Laplace (1749-1827). Su obra *Mecánica celeste* sostiene la hipótesis cosmogónica que une el origen del sistema solar a una nebulosa primaria. El Sol, al contraerse, habría experimentado un aumento en la velocidad de su rotación, que habría expulsado -debido a la fuerza centrífuga- materia incandescente en forma de anillos, cuya condensación habría dado nacimiento a los planetas. Hoy esta teoría ha sido abandonada pero podría representar la evolución en escala superior: el nacimiento de soles a partir de nebulosas.

En astronomía, estos grandes mecanicistas del siglo XVIII no introdujeron ningún nuevo principio. Sin embargo, William Herschell (1738-1822) inició grandes búsquedas acerca del firmamento ayudado por grandes telescopios que él mismo construyó y, en 1781, encontró el planeta Urano. Sostuvo que el Sol marchaba en el espacio arrastrando consigo todos los planetas. Afirmó el desplazamiento de nuestro sistema por los campos galácticos. Así explicó el aparente corrimiento general de las estrellas en dirección opuesta a la traslación del Sol. En su estructura de la galaxia, los astros se presentan distribuidos en campos estelares. El sistema sideral tiene la forma de un disco aplanado y la Vía Láctea representa sus bordes. Algunas nebulosas están formadas por estrellas; otras son de naturaleza gaseosa. En medio de esta inmensidad, nuestra galaxia es un enjambre estelar aislado, ya enormes distancias flotan otros conglomerados análogos: "universos-islas" del cosmos. Ciento cuarenta años después, los telescopios actuales confirmaron las audaces teorías de Herschel. .

A la física del siglo XVIII le tocó resolver los problemas que planteaban el calor y los fenómenos eléctricos. James Watt (1736-1819) aprovechó la energía calórica para construir su máquina de vapor. Benjamin Franklin (1706-1790) demostró que el relámpago es una descarga eléctrica; la consecuencia práctica de su experiencia fue la invención del pararrayos.

Charles Coulomb (1736-1806) demostró que la ley newtoniana de la razón inversa de los cuadrados rige también la atracción y la repulsión de las masas eléctricas y magnéticas. La primera ley numérica en el campo de los fenómenos eléctricos estaba formulada.

Antoine Lavoisier (1743-1794) formuló la definición de elemento como sustancia simple e indescomponible y eliminó la utilización de entes inverificables e imaginarios -como el flogisto- para introducir en la química el criterio cuantitativo. El antiguo axioma de la conservación de la materia se reinterpreto como la subsistencia de los elementos a través de todas las composiciones y descomposiciones.