años después, porque, aun cuando en 1618 se pronunció una condenación calificada de la concepción copernicana, ésta no encontró obstáculos para ser considerada como una representación matemática de los movimientos celestes. Sólo unos cuantos aristotélicos recalcitrantes se negaron a mirar a través del telescopio, alegando que ya sabían perfectamente lo que había en los cielos por el ejercicio de su pura razón. Y mientras la razón y la observación pudieran mantenerse en diferentes esferas del pensamiento, no habría dificultades.

La caída de los cuerpos: la dinámica.

Sin embargo, Galileo advirtió que no era suficiente haber verificado por la observación la preferencia estética de Copérnico. Era necesario justificarla, explicando cómo podía existir tal sistema y derrumbando las objeciones que se habían suscitado antes tanto desde el punto de vista filosófico como en nombre del buen sentido. También era necesario explicar cómo existía la rotación de la Tierra, sin producir una poderosísima corriente de viento en sentido opuesto, y cómo es que los cuerpos arrojados hacia el aire no abandonan la Tierra. Esto implicó un serio estudio de los cuerpos en movimiento libre, problema que ya tenía entonces una gran importancia práctica, en relación con la puntería de los proyectiles.

Para entonces, la teoría del impulso de Filopono -conocida a través de los árabes y elaborada por los nominalistas parisienses- había ganado aceptación. Se suponía que el proyectil, al abandonar el cañón, estaba dotado de un impulso, o vis viva, que destruía transitoriamente su propensión natural a caer. Tartaglia (1500-1557), Benedetti (1530-1590) y otros científicos del siglo XVI, habían elaborado esta explicación introduciendo un movimiento circular mixto entre la violenta elevación del proyectil y su caída natural, con lo cual se producía una trayectoria que no era una aproximación demasiado mala para las balas de los morteros de la época. Lo que faltaba era una justificación lógica o matemática.

Física experimental.

Galileo logró lo que otros no habían podido conseguir: formular una descripción matemática del movimiento de los cuerpos. Esta fue la obra magna de su vida, que sólo quedó expuesta por entero en sus Diálogos acerca de dos nuevas ciencias, publicados después de ser

condenado; pero que ya estaba implícita en el Diálogo concerniente a los dos principales sistemas del mundo, que fue la causa inmediata de su conflicto con la Iglesia. Galileo procedió a poner en cuestión todas las concepciones aceptadas, sometiéndolas a prueba por medio del nuevo método: el método experimental. El que haya arrojado efectivamente, o no, objetos, desde lo alto de la torre de Pisa, no es algo esencial. Lo que sí sabemos de cierto es que utilizó el péndulo y el plano inclinado para efectuar mediciones precisas de la caída de los cuerpos.

Los experimentos de Galileo fueron casi, pero no exactamente, los primeros de la ciencia moderna. Con respecto a los experimentos efectuados en el siglo XIII, su diferencia consistió en que fueron exploratorios más que ilustrativos y, lo que es más importante, en que su carácter cuantitativo los hizo compatibles con la teoría matemática. El propio Galileo se mostró en una actitud de transición respecto a sus propios experimentos. Incluso dijo alguna vez que no los realizaba para convencerse él, sino para convencer a los demás. Tenía una enorme confianza en el poder de la razón para interpretar a la naturaleza; y, en este sentido, hizo más bien demostraciones que experimentos. Sin embargo, en rigor, Galileo sí efectuó experimentos, aunque éstos fueron diferentes a los "experimentos ideales" sobre el papel que oscurecen la física en la actualidad; y, lo que es más, cuando obtenía resultados distintos de los que esperaba, no los rechazaba, sino que volvía a examinar sus propios argumentos. De este modo, mostró la humildad fundamental ante los hechos que es el sello distintivo de la ciencia experimental.

La interpretación matemática de los experimentos de Galileo sobre la caída de los cuerpos, resultó ser mucho más difícil que los experimentos mismos. Lo que era indispensable era entender cómo un cuerpo que se mueve con una velocidad que varía continuamente, puede tener una velocidad particular en un instante dado. Primero, Galileo partió de una base falsa, suponiendo que la velocidad aumentaba en proporción a la distancia recorrida por el cuerpo; cuando, como él mismo lo descubrió después, la velocidad depende directamente del tiempo que el cuerpo lleva cayendo. Para poder comprender la caída de los cuerpos -y, por consiguiente, el movimiento de las balas de cañón en el aire y el de la Luna en el cielo-, es esencial comprender la muy difícil noción de velocidad instantánea. Matemáticamente corresponde a la noción de diferencial: dx/dt, la relación entre dos magnitudes que se mantiene constante, aun cuando las magnitudes mismas decrezcan infinitamente. Galileo utilizó estas ideas

sin formularlas con precisión. Combinando los experimentos exactos con el análisis matemático, resolvió el problema relativamente simple de la caída de los cuerpos, demostrando que en ausencia del aire describen una trayectoria parabólica. Al hacer esto suministró el primer ejemplo claro de los métodos de la física moderna, que habían de dar lugar a un desarrollo extraordinariamente venturoso en los siglos siguientes. Es más, el método físico exacto iniciado por Galileo ha sido considerado, hasta muy recientemente, como el método básico de la ciencia, al cual deberían ser reducidas en último término todas las otras ciencias.

El renacimiento de las matemáticas.

Las aportaciones de Galileo y Kepler fueron posibles debido a su maestría en las nuevas matemáticas que florecieron con el Renacimiento. Vieta (1540-1603) dio el paso decisivo de hacer simbólico todo argumento matemático, utilizando letras para representar tanto las cantidades conocidas como las desconocidas, y esto no sólo en álgebra sino también en trigonometría. Este ingenioso recurso técnico aumentó enormemente la rapidez de los cálculos y evitó la confusión a que inevitablemente inducen las palabras. Gracias a los trabajos de Vieta, junto con los de Cardan (1501-1576) y los de Tartaglia, se pudieron emplear métodos algebraicos para tratar cualquier problema, con tal que las cantidades implicadas puedan ser reducidas a números. La antigua geometría griega mantuvo su prestigio, particularmente desde que se recuperaron las obras de Arquímedes, que fueron editadas por primera vez por Tartaglia en 1543, pero los cálculos numéricos se pudieron abordar mucho más fácilmente con los métodos del álgebra. Otros dos pasos de enorme importancia práctica se dieron cuando Simón Stevin (1548-1620) introdujo los decimales en 1585, y cuando Napier (1550-1617) descubrió los logaritmos en 1614. Al abreviar enormemente las operaciones de cálculo, el efecto real fue el de multiplicar el número de astrónomos y físicos en actividad.

Para completar la cadena de sus argumentos, Galileo advirtió la necesidad de conectar las matemáticas con la mecánica. El modo de lograrlo fue una de sus mayores preocupaciones en el curso de toda su vida científica. Leonardo anduvo a tientas tratando de conseguir aproximarse cuantitativamente a la mecánica; Galileo, con la ventaja de contar con mejores experimentos y unas matemáticas más aplicables, comprendió plenamente la cuestión,

y, así, fue uno de los fundadores de la ingeniería científica. Otro de los iniciadores lo fue el mismo Simón Stevin, de Brujas, el primer gran ingeniero de la nueva Holanda y participante activo en la guerra de liberación. Además, a Stevin debemos la ley de la composición de fuerzas y los fundamentos de la hidráulica cuantitativa.

Estática y dinámica: propiedades primarias y secundarias.

Para comprender plenamente el movimiento de los cuerpos, se requiere primero el tratamiento de las fuerzas en equilibrio, que se hace en la estática, y luégo el estudio de las fuerzas cuando no existe equilibrio, que es la tarea de la dinámica. Estas fueron las "dos nuevas ciencias" con que Galileo no sólo estableció los fundamentos de las leyes del movimiento, sino también de la teoría matemática de la resistencia de los materiales; mismas que desarrolló con base en sus discusiones con los maestros constructores de navíos.

Galileo afirmó, de una manera mucho más clara que cualquiera de sus antecesores, que las propiedades necesarias e intrínsecas de la materia eran la extensión, la posición y la densidad, ya que eran las únicas que podían ser tratadas matemáticamente y, por lo tanto, con alguna certeza. Todas las otras, "sabores, olores, colores, no son otra cosa que meros nombres respecto al objeto en el cual parecen residir. Unicamente existen en las impresiones sensibles..." Esto no era considerado por los sustentantes de la nueva ciencia como una limitación, sino como un programa para llegar a reducir todos los experimentos a las cualidades primarias de "dimensión, forma, cantidad y movimiento".

Destrucción de la antigua cosmología.

Para conquistar el reconocimiento general hacia su nueva ciencia mecánico-matemática, Galileo tuvo que destruir antes el sistema ptolomeico de las esferas celestes, y junto con él -como lo advirtió claramente-, toda la filosofía aristotélica, que durante 2,000 años había servido de fundamento a las ciencias naturales y a las ciencias sociales. Se sentía especialmente atraído por la tarea, ya que había conocido a la filosofía aristotélica en su mejor expresión, en Padua. No era un extraño; por el contrario, era capaz de refutar al maestro con su propia lógica, de un modo que

no se podía pasar por alto, aunque se estuviese en desacuerdo. Implícitamente, toda su obra fue una protesta contra los aristotélicos; pero su primera exposición explícita la tenemos en su opúsculo polémico, Diálogo concerniente a los dos principales sistemas del mundo, el ptolomeico y el copernicano, que dedicó al Papa en 1632. Utilizando el italiano accesible para todos, en vez del latín culto, Galileo criticó y ridiculizó implacablemente las concepciones sostenidas oficialmente sobre los asuntos de mayor importancia. Este Diálogo fue el primer gran manifiesto de la nueva ciencia.

El proceso de Galileo.

El desafío de Galileo no pudo ser ignorado y lo llevó directamente al famoso proceso. Tanto en la ciencia como en la Iglesia, Galileo se había hecho de muchos enemigos, y éstos, al aparecer el Diálogo, redoblaron las denuncias en su contra. Actualmente es un poco difícil entender cómo una cuestión académica -la discusión sobre los movimientos de la Tierra y los planetas- pudo haber provocado una lucha tan violenta; pero, en aquel tiempo, por mucho menos que eso se corría el riesgo de ir a la picota. Después de muchos siglos de violentas disputas, y a costa de un inmenso esfuerzo intelectual, se había forjado la transacción cristiano-aristotélica que ni las querellas de la Reforma habían conseguido conmover. Si se ignoraba el desafío sobre un aspecto esencial, como lo es la constitución de los cielos, entonces ¿hasta dónde podrían llegar las embestidas de los atacantes? Ya algunos copernicanos vehementes, como Bruno y Campanella (1568-1639), habían extraído del nuevo conocimiento ciertas conclusiones que amenazaban la estabilidad de la Iglesia, el gobierno, la moral pública y hasta la propiedad misma. Bruno había sido quemado vivo y Campanella pasó varios años en prisión. Pero con Galileo la cosa era distinta, ya que se trataba de un científico de prestigio y con amigos poderosos, de cuyo catolicismo no se podía tener duda, y que, salvo en asuntos científicos, no era un revolucionario.

El proceso se llevó al cabo de acuerdo con las ideas y modos de razonar de la Iglesia -y no conforme a los de Galileo- y, por lo tanto, condujo al resultado que se podía anticipar. Pero lo interesante es el hecho de que las actas del proceso fueron mantenidas en secreto; muy probablemente debido al peligro de que su publicación pudiera revelar, no la severidad de los jueces, sino su relativa lenidad. El Papa y el clero estaban más preocupados por las posibles reacciones de los fanáticos reaccionarios de la Iglesia que por las de los científicos. Galileo fue condenado y obligado a hacer su famosa retractación, pero sólo estuvo nominalmente preso en el palacio de uno de sus amigos. En su retiro pudo terminar su obra sobre dinámica y estática, que publicó en los últimos años de su vida.

Con todo, el proceso de Galileo fue un acontecimiento que hizo época, ya que dramatizó el conflicto existente entre la ciencia y el dogma religioso. De hecho terminó en un fracaso, puesto que el veredicto fue recibido con disgusto por casi todas las personas cultas -incluso en los países católicos- y acarreó un prestigio enorme a la nueva ciencia revolucionaria y experimental, particularmente en aquellos países que ya se habían independizado de la autoridad de Roma. La obra de Galileo vino a ser la culminación del ataque a la antigua cosmología que, a partir de entonces, se derrumbó silenciosamente. Los astrónomos prácticos utilizaron el modelo copernicano-kepleriano del sistema solar; y, cuarenta años después las leyes observacionales de Kepler fueron conjugadas con la dinámica de Galileo en la teoría de la gravitación universal de Newton.

La nueva filosofía.

Los dos grandes y difíciles descubrimientos de la rotación de los planetas y de la circulación de la sangre, ya estaban firmemente establecidos en 1642, año en que murió Galileo y nació Newton. El primero de los objetivos intelectuales de la revolución científica ya se había conseguido: había quedado destruída la concepción clásica del mundo, aun cuando apenas si se habían esbozado los lineamientos generales de la nueva concepción. Con esto se habían encontrado nuevos medios para comprender a la naturaleza y conquistarla; pero, en cambio, eran muy pocas las aplicaciones que se pudieran considerar de uso práctico general.

El mismo telescopio era una invención más bien técnica que científica. Antes de que los efectos de la revolución ocurrida en el pensamiento se pudieran hacer sentir en la práctica, era necesario que las posibilidades ofrecidas por la nueva ciencia no sólo estuvieran al alcance de los conocedores, sino también de la nueva clase de hombres emprendedores -comerciantes, navegantes, manufactureros y los primeros capitalistas progresivos- que venían realizando su propia revolución política. Galileo había empezado a hacerlo, pero desgraciadamente vivía en un país que había perdi