

# GALILEO: LAS MATEMATICAS Y EL MUNDO

Los trabajos de Galileo Galilei han sido objeto de aproximaciones epistemológicas muy diferentes. Incluso se los menciona como ejemplo de la posibilidad de realizar interpretaciones opuestas de la historia. Interpretaciones que, sin embargo, no necesariamente tienen que excluirse. La historia es una reconstrucción de los acontecimientos significativos. Tanto la elección de estos acontecimientos como las relaciones que se consideran relevantes entre ellos dependen de intereses determinados a su vez históricamente. Cada época hace su historia y se reconoce en ella. Por eso el iluminismo vio sólo oscuridad en la Edad Media. Como la historia es ante todo una investigación que las sociedades hacen de los procesos que configuran su identidad, ella está siempre rehaciéndose y no puede regirse por los criterios de verdad de las disciplinas fisico-matemáticas, donde, en palabras de Galileo, "así como no se da *ex parte rei* (en la realidad) el término medio entre lo verdadero y lo falso, así en las demostraciones necesarias, o se concluye indubitavelmente, o se paralogiza inexcusablemente, sin dejar campo para defenderse con limitaciones, distinciones, retorcimientos de palabras y con otros giros, sino que por fuerza y en pocas palabras y al primer asalto se queda César o nada".<sup>1</sup>

Racionalista y platónico para Koyré, experimentalista juicioso para Stillman Drake, anarquista epistemológico para P. K. Feyerabend, filósofo moderno científico creador, de lo que no cabe duda es de que Galileo inaugura una nueva mirada y un nuevo campo para la práctica humana. El opone a la pregunta aristotélica por la causa la descripción matemática de los fenómenos. La verdad esencial, la adecuación del intelecto a la cosa es sustituida por él y desde él por la unidad entre matemática y experimento ("demostraciones necesarias" y "experiencias sensibles"). A partir de Galileo, el plan de la Filosofía natural cambia; el ideal de reconstruir teóricamente la armonía esencial del mundo cede el paso al proyecto de la precisión. Para la ciencia galileana no basta ya ver; hay que "ver" a través de una teoría matemática y, con la ayuda de instrumentos, hacer "minuciosísimas observaciones". Con Galileo se constituye, en fin, una

<sup>1</sup> *Il Saggiatore, en Le Opere Di Galileo Galilei. Nuova ristampa della Edizione Nazionale (1890-1909). Firenze, G. Barbera Editore, 1964. Existe traducción española: El ensayador, Editorial Sarpe, Madrid, 1984, p. 181. La página que se cita corresponde a esta edición.*

\* Carlos Augusto Hernández es profesor del Departamento de Física de la Universidad Nacional de Bogotá. Este ensayo ha sido tomado de la revista *Naturaleza. Educación y Ciencia*, N° 5, primer semestre de 1991, con permiso de su autor y del Director.

nueva realidad: el fenómeno producido y condicionado como experimento; un fenómeno artificial donde se pone explícitamente de presente la finalidad de la técnica: construir situaciones ideales donde las predicciones se cumplan con toda exactitud.

Con Galileo se funda un modo particular de investigar los fenómenos del movimiento. La reflexión sobre ese acto de fundación nos enfrenta a la especificidad de una disciplina, la física, algunos de cuyos problemas filosóficos más generales se plantean y se discuten explícitamente en los textos galileanos. El estudio de estos textos puede servir de propedéutica epistemológica (por ello se centra en estos trabajos una cátedra de introducción a los problemas de la historia y la filosofía de las ciencias en el Departamento de Física de la Universidad Nacional, en la cual se discuten relaciones entre matemáticas y experimentos, entre ciencia y técnica, entre vida social y paradigmas explicativos). En estas líneas nos limitaremos a plantear algunas ideas sobre la lectura matemática que Galileo hizo de los fenómenos de movimiento; un tema recurrente de los debates epistemológicos actuales.

Como primer paso de la infinita variedad de la naturaleza que se ofrece a los sentidos sólo lo matemáticamente representable será llevado al cuadro de la Física. Y se trata de algo muy distinto de lo que hubieran podido hacer los antiguos pitagóricos. No en balde estamos en los albores del siglo XVII, en el período de consolidación de una nueva clase preocupada por la ganancia y atenta a los avances de la técnica.

Repitamos (¡una vez más!) el famoso texto de *El ensayador* en donde se separan las cualidades de los objetos y se definen, por así decir, las propiedades esenciales del objeto de trabajo de la nueva ciencia:

*“Digo pues, que me siento atraído por la necesidad, en seguida que concibo una materia o sustancia corpórea, de concebir a un tiempo que ella está delimitada y representada por esta o aquella figura, que en relación con otras es grande o pequeña, que está en este lugar o aquel, en este o en aquel tiempo, que se mueve o está quieta, que toca o no toca a otro cuerpo, que es una o poca o muchas, y por ningún esfuerzo de imaginación puedo separarla de estas condiciones; pero que debe ser blanca o roja, amarga o dulce, sonora o muda, de agradable o desagradable olor, no siento que deba forzar a la mente a tener que aprehender que tales condiciones la acompañen necesariamente; antes bien, si los sentidos no nos guiaran, quizás el discurso o la imaginación por sí misma, no hubiera llegado jamás a ellas”<sup>2</sup>*

<sup>2</sup> Galileo: *El ensayador*, p. 292.

Se determina de este modo el escenario en el cual deberán aparecer los fenómenos de la nueva ciencia del movimiento. Semejante delimitación del objeto de trabajo podría reconocerse como el discurso inaugural de la física, el punto de ruptura entre la filosofía tradicional y la ciencia del movimiento. Sólo que la encontramos palabra por palabra en un libro de filosofía del mismo período, las *Meditaciones metafísicas* de Descartes, y proviene de Demócrito; es decir, de la filosofía presocrática.

Pero para Demócrito la separación de las cualidades entre cualidades

primarias —propias de la cosas mismas— y cualidades secundarias —propias de los sentidos— expresa la diferencia esencial entre apariencia y realidad “lo dulce existe por convención; lo amargo existe por convención; el frío existe por convención; el calor existe por convención. Los átomos y el vacío existen en realidad” (fragmento 9). La realidad son los átomos inaccesibles a la experiencia. Sólo la razón permitiría conocer esta esencia matemática última y permanente que los fenómenos ocultan tras su cambio incesante, su colorido y diversidad. “Nada sabemos en realidad, pues la verdad se esconde en lo profundo” (fragmento 117)<sup>3</sup>

Las propiedades matemáticas de las cuales nos habla Galileo pueden ser, en cambio, directamente reconocibles en un mundo en el cual se construyen esferas cada vez más regulares, ruedas y poleas cada vez más circulares, superficies cada vez más planas, embarcaciones y pinturas planeadas con la ayuda de la geometría, instrumentos de trabajo cada vez más funcionales (como el famoso telar mecánico), y todo esto de acuerdo con las exigencias de una industria que acude, siempre en mayor medida, al cálculo y que comienza a utilizar con éxito las máquinas.

Comenzando con el pulimento de las piedras y la producción de instrumentos el hombre fue dando a las cosas formas cada vez más regulares, creando un mundo geométrico aun antes de la geometría. Esta última, sin embargo fue sistematizada al parecer al margen de la industria. Durante siglos la geometría hizo parte de lo ideal-racional, las formas de las cosas sólo se le aproximaban. Pero en el siglo XVII la geometría y la industria pueden ser ya conscientemente conectadas;

no sólo encontramos la geometría aproximada en el mundo; sabemos que podemos construir y perfeccionar las formas geométricas a través de la técnica.

Este mundo nuestro, de acuerdo con *El Timeo* de Platón, fue construido a partir de un modelo matemático. Según esto, conocer la verdad, la razón del universo, consistiría en descubrir la coherencia esencial: la armonía matemática del modelo ideal. Pero esta armonía, la verdadera realidad, no coincide en esta filosofía con el mundo de la experiencia; no pertenece al mundo de la percepción.

Para Galileo, en cambio, la idealidad no está fuera del mundo, en el modelo inaccesible a la industria humana. Las formas matemáticas perfectas son, más bien, un proyecto de la técnica.

Las matemáticas permiten proponer experiencias ideales que, gracias a la técnica, pueden realizarse con un grado cada vez mayor de aproximación de lo real a lo pensado.

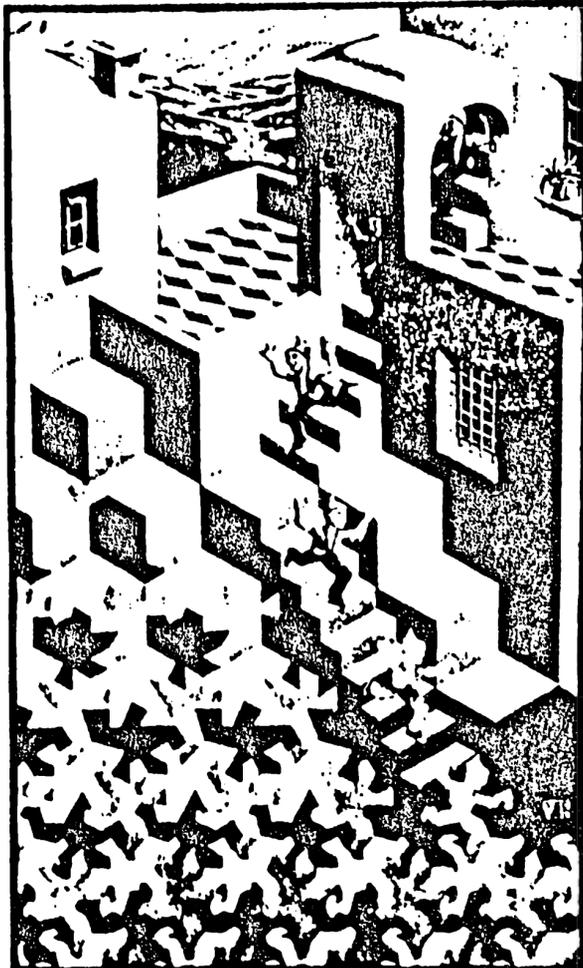
“...si vos tenéis una superficie plana, tan lisa como un espejo y de materia dura como el acero y que no esté paralela al horizonte, sino un poco inclinada, y colocáis sobre ella una bola perfectamente esférica y de materia grave y durísima, por ejemplo de bronce, dejada en libertad, ¿que creéis vos que haría?”<sup>4</sup>

Es verdad que no es lo mismo colocar una esfera real sobre un plano real que imaginar geoméricamente la situación en que la esfera y el plano son idealmente rígidos: “las cosas tomadas en concreto no responden a las consideradas en abstracto” dice Simplicio, el personaje

<sup>3</sup> Ver: C. Marx: *Diferencia de la filosofía de la naturaleza según Demócrito y según Epicuro*; Universidad Central de Venezuela, Caracas, 1973.



<sup>4</sup> Galileo: *Diálogo sobre los dos sistemas máximos*, Jornada segunda. Aguilar, Buenos Aires, 1975, p. 87.



<sup>5</sup> *Diálogos...*, Jornada segunda, p. 188-189.

aristotélico del *Diálogo sobre los dos sistemas máximos*, y por supuesto tiene razón cuando duda de que sea posible, en el mundo real, que una esfera toque a un plano en sólo un punto. Pero no se trata de rechazar la explicación matemática porque el modelo no puede ser empíricamente realizable con perfección ideal, sino de considerar la diferencia entre las condiciones reales y las ideales y disminuir esas diferencias mejorando el modelo o modificando la experiencia.

*"...Siempre que en concreto vos apliquéis una esfera material a un plano material, vos aplicáis una esfera no perfecta a un plano no perfecto, y decís que estos no se tocan en un punto. Pero yo os digo que, incluso en abstracto, una esfera inmaterial, que no sea esfera perfecta, puede tocar a un plano inmaterial, que no sea un plano perfecto, no en un punto, sino en una parte de su superficie; de modo que, hasta aquí, todo lo que sucede en concreto, sucede también en abstracto; y sería una cosa muy extraña que las cuentas y las razones hechas con los números abstractos no respondiesen después con las monedas de oro y de plata y con las mercancías concretas. Pero, ¿sabéis, Sr Simplicio, lo que sucede? Igual que cuando se quiere que las cuentas cuadren con el azúcar, con las sedas y con las lanas, para lo cual será necesario que el contable haga sus cuentas con las cajas, las envolturas y los paquetes, así el filósofo y geómetra, cuando quiere reconocer en concreto los efectos demostrados en abstracto, será necesario que prescinda de los impedimentos de la materia, pues si sabe hacer esto, aseguro que las cuentas se encontrarán no menos ajustadas que los cálculos aritméticos. Los errores, por tanto, no consisten ni en lo abstracto ni en lo concreto, ni en la geometría ni en la física, sino en el calculador que no sabe hacer las cuentas justas"*<sup>5</sup>

La unidad entre la matemática y el

mundo no consiste sólo en la posibilidad de aproximar la descripción matemática al fenómeno que se quiere estudiar. Se requiere también aproximar el fenómeno a la matemática: producir un fenómeno que pueda ser descrito matemáticamente de la forma más aproximada posible. La ley expresada en términos de proporciones cuantitativas (o en términos algebraicos) se cumple sólo, para Galileo, en un entorno ideal -el vacío- que no presenta resistencias al movimiento. Sólo en este mundo las velocidades (aceleraciones) de la caída son las mismas para todos los cuerpos que se sueltan desde un mismo punto; sólo allí, los espacios recorridos en la caída son rigurosamente proporcionales a los cuadrados de los tiempos. Tal mundo, sin embargo, tiene el inconveniente del caballero Aguilulfo en la última novela de la trilogía *Nuestros antepasados* de Italo Calvino... no existe.

Es demasiado complicado explicar la caída de un cuerpo liviano como una hoja de otoño. Sin embargo, la resistencia que el aire ofrece a un cuerpo pesado en un tiro parabólico es suficientemente pequeña para considerar que no afecta mucho su velocidad horizontal. Puede aceptarse que la masa que oscila en el extremo de un péndulo tiende a subir siempre hasta la misma altura, aunque en unas pocas oscilaciones el efecto acumulado revele la falsedad de semejante hipótesis; en todo caso podemos disminuir las resistencias en el espacio artificial del laboratorio. Allí los fenómenos se hacen más y más cercanos a la teoría.

La realidad de la física coincide, ya desde Galileo, con la del laboratorio; al menos está más cerca del laboratorio que del mundo de la cotidianidad. Pero la naturaleza no

cumple leyes distintas en el laboratorio y en el mundo fuera de él. El fenómeno del laboratorio no es simplemente un fenómeno artificialmente producido; es un fenómeno natural ordenado. Así, la ley probada únicamente en una disposición artificial de efectos se cumple universalmente. El experimento tiene como función principal aislar los fenómenos que en la experiencia común se dan "mezclados". La explicación de la experiencia sensible no es el principio del trabajo de la ciencia; más bien es una de las utopías que pueden guiar la reflexión hacia preguntas cada vez más complejas. El fenómeno inmediato es teóricamente complejo. Acceder a él es una de las más difíciles tareas de la ciencia natural. Ya lo había indicado el mismo Aristóteles, cuya labor consistió en más de una ocasión en una sistematización de la experiencia sensible:

*"Ahora bien: el proceso o camino natural en el conocimiento es el que va desde las cosas que nos son conocidas o cognoscibles y evidentes a las que nos son más cognoscibles y evidentes en sí mismas, ya que no son las mismas las cosas que nos son más cognoscibles respecto de nosotros que las que son absolutamente cognoscibles...Las cosas que con relación a nosotros son inmediatamente evidentes y claras son las cosas más mixtificadas; solamente en un segundo tiempo, por medio de la distinción analítica, se hacen cognoscibles los elementos y los principios"* <sup>6</sup>

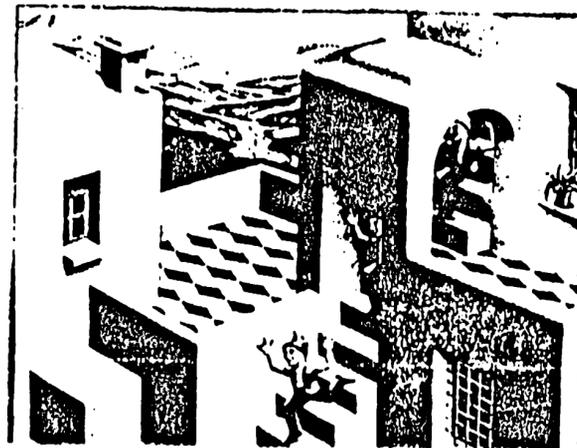
Se llega al laboratorio con una explicación teórica, con una suposición más o menos precisa de lo que puede ocurrir. El experimento implementa técnicamente la suposición. Así el método de trabajo de Galileo está muy lejos de la propuesta baconiana, el empirismo elemental. Se diría incluso que Galileo polemiza con los partidarios del empirismo cuando dice:

*"la inducción, si tuviese que pasar por todos los particulares sería imposible o inútil: imposible, cuando los particulares fueran innumerables; y cuando fueran numerables el considerarlos todos haría inútil, o mejor nulo, concluir por inducción"*<sup>7</sup>

Esta "distinción analítica" no ocurre, para Galileo, únicamente en la cabeza; el laboratorio (la técnica) la hace posible en el mundo real. Pero es claro que la distinción operada en el laboratorio parte de un trabajo teórico previo; de un ejercicio de la razón que separa e idealiza, que calcula y predice.

Una referencia tan obvia a la inducción sería innecesaria si el debate sobre Bacon como padre del método científico estuviera ya zanjado. Pero a pesar de las declaraciones del mismo Galileo, y de las discusiones metodológicas de los últimos años, aparecen una y otra vez "metodólogos" que pretenden hacer de la inducción el modo de operar de la ciencia moderna o que insisten en la existencia de una fantasía muy extraña para el filósofo de la ciencia actual" el "método científico". Galileo y Einstein, entre otros, hicieron observaciones que no bastaron para levantar ese equívoco. Existen incluso científicos que, conociendo diferentes métodos de trabajo en su área específica, siguen hablando en singular del "método científico". Lo que parece el colmo de la caricatura —y sin embargo no lo es— es que algunos profesionales de las ciencias humanas pretenden "tomar prestado" el METODO de las ciencias naturales (las cuales, por supuesto, no aceptarían encerrarse en semejante jaula para trabajar, ni hubieran progresado como lo han hecho si hubieran aceptado las normas de los "metodólogos").

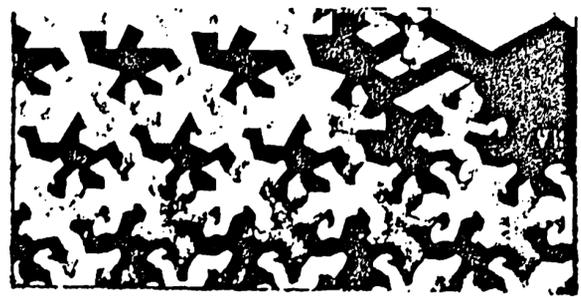
Los partidarios del racionalismo podrían pretender contar con Galileo en



<sup>6</sup> Aristóteles: Obras. Aguilar, Madrid, 1973, p. 570.



<sup>7</sup> Opere..., Vol. VI, p. 701.



sus filas por más de una razón.

—Será objeto de trabajo para el “matemático-filósofo”, para los “profesores de ciencia demostrativa”, sólo aquello que pueda ser expresado matemáticamente.

—El fenómeno que cumple la función de la prueba está determinado desde las condiciones de la teoría, es un fenómeno preparado racionalmente.

—El universo de la filosofía natural es, en parte, un universo de fenómenos no producidos intencionalmente, pero observados a través del lente de la matemática (y, por tanto, ordenados desde una racionalidad formal, sistemática y crítica), y en parte un universo contruido en el laboratorio; un universo artificial que resulta de implementar técnicamente el plan de la teoría. Como piensa Bachelard, más que una fenomenología el soporte material de esta razón matemática es una fenomenotécnica.

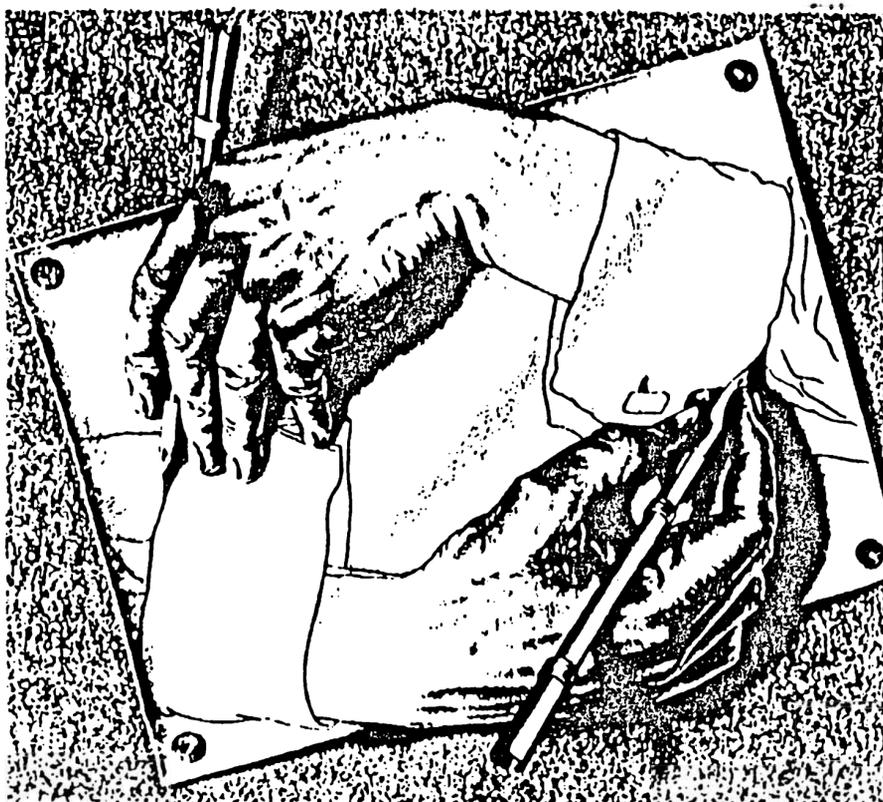
Pero este racionalismo no puede ser ya una forma del platonismo, por más que se apoye en experimentos mentales y se remita a condiciones ideales. La técnica separa definitivamente a Galileo del gran filósofo griego que inspiró a Ficino y a la academia Florentina. Lo que no significa que podamos ignorar las resonancias platónicas del método de exposición dialogada y de la valorización de la coherencia racional frente a la experiencia.

*“Yo, sin experiencia, estoy seguro de que el efecto será tal como os digo porque así es necesario que sea; y aún más: añadido que vos mismo sabéis ahora que no puede suceder de otra manera, si bien fingís o simuláis fingir que no lo sabéis”*<sup>8</sup>

¿Retórica? Seguramente. P.K. Feyerabend y Maurice Finochiaro han puesto de presente esta dimensión indispensable del discurso de la nueva ciencia. Se trata de convencer, de sensibilizar, de crear las condiciones para cambiar una forma de evidencia (la de los sentidos) por otra (la evidencia racional de la demostración matemática). Y, en principio, no es siempre posible demostrar matemática y experimentalmente la verdad de una teoría; entonces es necesario mostrar que los nuevos planteamientos son verosímiles, que las viejas pruebas son falsas, que las nuevas preguntas son legítimas, que las nuevas estrategias de respuesta son más “naturales”, más lógicas, más acordes con una experiencia razonada.

Como guía de una estrategia retórica o como fuente de inspiración epistemológica, lo cierto es que Platón está presente en la mente de Galileo (aunque no con mayor

fuerza que Aristóteles, maestro y contendiente a través de los peripatéticos, de quien nunca dudó Galileo que hubiera estado entre sus partidarios de haber vivido en el siglo XVII)<sup>9</sup>. Es común a los diálogos galileanos y a los platónicos el respeto por la evidencia matemática cuya verdad es incontestable; la voluntad de fundamentar exhaustivamente y de llevar la crítica (a través de la lógica) hasta las más radicales consecuencias; la duda frente a las afirmaciones obtenidas muy a la ligera a partir de los datos de los sentidos.



<sup>8</sup> *Diálogos...*, II, p. 86 (*Opere VII*, 171).

<sup>9</sup> *Bastaría recordar la hermosísima lección de dialéctica platónica con la cual Galileo rinde homenaje al filósofo que postuló la teoría de la reminiscencia, haciendo “recordar” a Simplicio la conservación de la velocidad tangencial cuando cesa de obrar la fuerza centrípeta sobre un cuerpo que gira en el extremo del radio de una circunferencia, en la segunda jornada de los Diálogos...* (pp. 160-165 de la edición en español).

La verdad de la matemática es tanto más esencialmente verdad, cuanto que es universal y necesaria. Precisamente por ello no puede ser lo mismo "dar órdenes a un matemático o a un filósofo natural que dar instrucciones a un mercader o a un abogado"<sup>10</sup>. La evidencia racional de la matemática es de tal naturaleza que no es posible sustraerse a ella.

"Quisiera yo rogar a esos prudentísimos padres que tuvieran a bien considerar con diligencia la diferencia que media entre las doctrinas opinables y las doctrinas demostrativas. En tal caso, y haciéndose cargo de la fuerza con que nos imponen las deducciones necesarias, se hallarían en mejores condiciones para reconocer por qué no está en la mano de los profesores de ciencia demostrativa cambiar las opiniones a gusto"<sup>11</sup>

Galileo no duda en comparar el conocimiento de una demostración matemática con el modo como la verdad se pone de presente a los ojos del mismo Dios:

"...tomando el entender intensive, en cuanto tal término indica intensivamente, es decir, perfectamente, afirmo que el entendimiento humano puede entender algunas proposiciones de esta manera, y por tanto, tener de ellas absoluta certeza; así son, por ejemplo, las ciencias matemáticas, es decir, la aritmética y la geometría, de las cuales el intelecto divino sabe infinitas proposiciones más, porque las sabe todas, pero, de las pocas comprendidas por el entendimiento humano, creo que el conocimiento es igual al divino en cuanto a la certeza objetiva, puesto que llega a comprender su necesidad, y sobre ésta no parece que puede existir seguridad mayor"<sup>12</sup>

Por si este testimonio no fuera suficiente, los entusiastas de una razón matemática superior a toda experiencia en Galileo (o de una

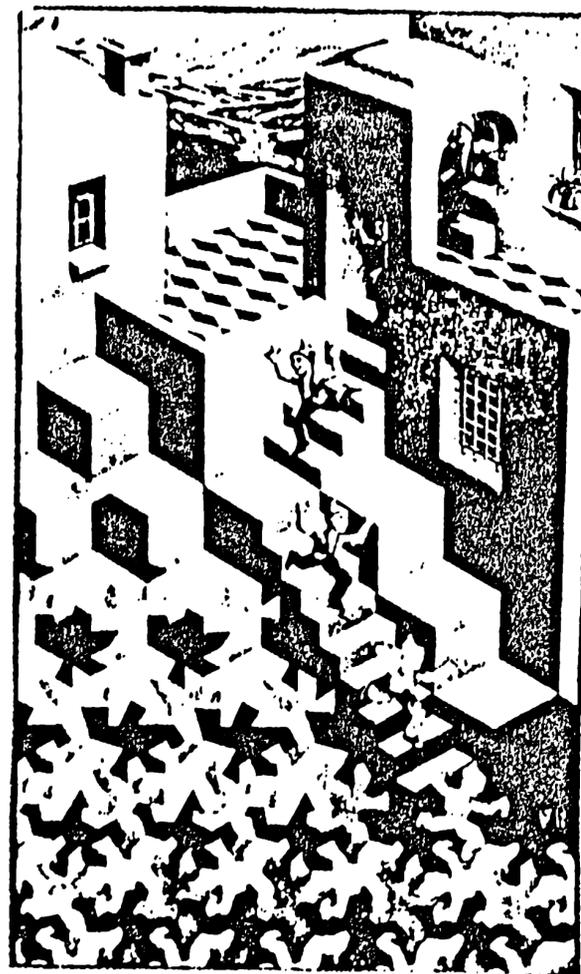
experiencia siempre al servicio de la razón matemática), podrían recurrir a la famosa carta de Baliani del 7 de Enero de 1639:

"Pero volviendo a mi tratado sobre el movimiento, argumento *ex suppositione* [haciendo una suposición] sobre el movimiento, definido en aquel modo [aumento constante de la velocidad]; de tal modo que cuando las consecuencias no respondiesen a los accidentes del movimiento natural descendente poco me importaría, del mismo modo que nada anula o modifica la demostración de Arquímedes el que no exista en la naturaleza ningún móvil que se mueva por líneas espirales"<sup>13</sup>

Este texto señala una primera condición de esta nueva ciencia, el argumento *ex suppositione*. Partimos de una suposición sobre el principio matemático que expresa la necesidad del fenómeno; la coherencia racional que liga este principio a las deducciones necesarias no depende en absoluto de la experiencia. En cambio, cuando la experiencia corrobora la deducción, también corrobora el principio del cual necesariamente esa deducción se sigue, en el caso de que no exista un principio diferente que pueda llevar a esa misma conclusión. Pero no es legítimo inferir de los efectos la necesidad de una premisa si existe más de un principio a partir del cual se concluya idénticamente. Este último es el caso de las pruebas aristotélicas de la inmovilidad de la tierra; es posible deducir los mismos efectos utilizados como pruebas del geocentrismo [la caída aparentemente vertical de un cuerpo abandonado en lo alto de una torre, por ejemplo] asumiendo la posición copernicana.

Las críticas de las pruebas aristotélicas ponen en evidencia que toda explicación es precaria; al fin y al cabo toda deducción parte de

<sup>10</sup> Carta a la señora Cristina de Lorena, gran Duquesa de Toscana, en J. Babini: Galileo, Centro Ed. América Latina, Buenos Aires, 1967. pp. 53-54.



<sup>11</sup> *Ibid.*

<sup>12</sup> *Diálogos...*, I, p. 187.

<sup>13</sup> *Dal Carteggio e dai documenti. Galileo Galilei. Firenze: Sansoni editore, 1984, p. 424*

ciertos presupuestos. Galileo mismo asumiría en 1604 la tarea de hallar "...un principio totalmente indubitable para poder ponerlo como axioma..."<sup>14</sup> del movimiento de un cuerpo en un plano inclinado; pero unos años más tarde tiene que replantear la premisa que ha asumido, "...una proposición que tiene mucho de evidente, y supuesta ésta demuestro lo demás..." (Ibid) y reinterpretar las pruebas de su teoría inicial. Pero sería apresurado tomarlo por ello como modelo de una especie de criticismo positivista. Por el contrario, la defensa que realiza del heliocentrismo es un brillante ejercicio de retórica. Allí, lo posible se representa de tal modo que produce la impresión de lo necesario. Galileo sabe muy bien que una refutación del contrincante no es una prueba de lo contrario de lo que él afirma. Pero se cuida muy bien de no explicitar este asunto pese a las presiones de la iglesia. Definitivamente no razona *ex suppositione* sobre el movimiento de la Tierra; cree firmemente como Copérnico en este movimiento. Tal vez no era simple retórica; tal vez Galileo distingue entre las afirmaciones de la filosofía natural que expresan el orden esencial (verdadero) del mundo y las hipótesis geométricas que el experimento debe comprobar.

La suposición que Galileo menciona en la carta a Baliani de 1639 sobre la caída a lo largo de un plano inclinado consiste en que la velocidad va creciendo "...igualmente según el crecimiento del tiempo..." y la deducción que de allí se obtiene es la misma de 1604, es decir, que "...los espacios pasados por el movimiento natural están en proporción doble de los tiempos". ¡Pero en 1604, en la carta a Sarpi, esta derivación era obtenida —erróneamente— de un principio diferente! Por entonces Galileo

suponía que "...el móvil natural va creciendo su velocidad con aquella proporción con la cual se separa del comienzo de su movimiento". Viendo el error, un lector cualquiera descartaría por falso el principio de 1604 observando, por ejemplo que de él no se deriva la relación de espacios y tiempos del experimento, y reconocería en el principio de 1639 la expresión más correcta. Pero esta solución "lógica" no advierte el importante problema de las fuentes teóricas de la filosofía natural que hizo posible la moderna ciencia del movimiento. Para un historiador reflexivo como Koyré, el error no es una simple falla lógica. El error pone en evidencia un fondo problemático. Este fondo es el aristotelismo heredado por la física parisina del *impetus*.

Según esta teoría, un cuerpo separado del motor que lo impulsa permanece en movimiento debido al *impetus* adquirido mientras era empujado. Esta virtud adquirida se mantiene en el cuerpo o se pierde gradualmente. Un cuerpo en caída recibe, por efecto de su pesantez, *impetus* sucesivos que aumentan su velocidad en el descenso y la disminuyen en el ascenso. El *impetus* permitía comprender la conservación de un movimiento no "natural" (como el de un cuerpo pesado que sube) luego de que el móvil se ha separado del motor; estos movimientos "violentos" sin motor extremo eran un gran problema para la física de Aristóteles. La noción de *impetus* se fue ligando con el tiempo a la de velocidad, y ya a finales del siglo XVI, en la época en que Galileo escribe su *Mecánica*, prefigura lo que luego será la *cantidad de movimiento*.

Paradójicamente esta noción cualitativa permite ya una expresión matemática del fenómeno del tipo  $v_1/v_2 = d_1/d_2$ .

<sup>14</sup> Carta a Paolo Sarpi, 16 de Octubre de 1604. *Opere...*, Vol. X, p. 115.





<sup>15</sup> Del Carteggio..., p. 424.

<sup>16</sup> Diálogo sobre los dos sistemas máximos, Jornada segunda, p. 51.



No se requiere conocer el lugar natural. Basta saber que la velocidad (y el *impetus*) aumenta mientras el cuerpo recorre la trayectoria de la caída. La "virtud de motor guardada en el interior del móvil" ya no es una idea de Aristóteles; pero conserva la metafísica del motor y el móvil. La pesantez genera *impetus* precisamente porque el cuerpo pesado está fuera del punto de equilibrio. De aquí resulta natural asociar la velocidad de la caída con la distancia; pero carecería de sentido físico asociarla con el tiempo.

Como se advierte, el error que la lógica reconoce como una simple deducción equivocada, se ofrece al análisis histórico como una fuente de inquietudes y de nexos importantes. Descubre fuentes de la coherencia racional (nociones como equilibrio y armonía) distintas de la pura matemática, que acompañan el proceso de fundación de la nueva ciencia del movimiento y que involucran formas de validación diferentes de la demostración que hoy se exigiría. (Más aún, algunos han encontrado que estos errores revelan, en los estudiantes del siglo XX, conexiones racionales bien distintas de las que establece la teoría física).

Ahora bien, el argumento *ex suppositione* no es aún ciencia natural, es sólo un principio POSIBLE, cuyas conclusiones necesarias deben ser demostradas por la experiencia. La experiencia racionalmente orientada, el experimento, no es un simple apéndice; en ella el principio, que como principio matemático seguirá intacto después de la prueba de laboratorio, se juega su suerte como principio natural. La prueba de laboratorio es la prueba de la verdad de la teoría en el sentido de que, dados ciertos presupuestos teóricos y técnicos, se sigue necesariamente un resultado predecible y susceptible de medición. El experimento dirá si la necesidad racional del modelo coincide con la necesidad material del fenómeno.

Luego de la afirmación citada de que la experiencia no podría invalidar la coherencia puramente matemática, la carta a Baliani de 1639 continúa así:

*"Pero en esto (la descripción del movimiento acelerado) he sido, diré así, afortunado, ya que el movimiento de los cuerpos pesados y sus accidentes responden puntualmente a los accidentes demostrados por mí del movimiento por mí definido"* <sup>15</sup>

Tan vigorosamente como se defendió la coherencia racional, se defenderá ahora la prueba experimental. La filosofía natural no puede hacerse en contra de una experiencia, cuando esta experiencia está ligada a una demostración racional.

*"...Una sola experiencia o una demostración concluyente bastan para echar por tierra esta y otros cien mil argumentos probables.."* <sup>16</sup>

El divorcio entre matemáticas y experiencia sensible no es una cuestión de esencia, sino una limitación de ciertos discursos:

*"Queréis culpar a los matemáticos de ignorancia, por no haber dado cuenta de que el sentido en los sensibles comunes se engaña; como si el saber si se engaña o no fuera un recóndito y profundísimo misterio y secreto de la filosofía. Pero, ¿Quién ha hecho mayores y más exactas observaciones y especulaciones acerca de los engaños de la vista que los mismos matemáticos? (...) El ojo no se engaña en absoluto al recibir la especie de la madera (del remo) puesta en medio del agua, como rota, porque ella no es menos verdadera cuando viene del agua rota que cuando del aire derecha; sino que*

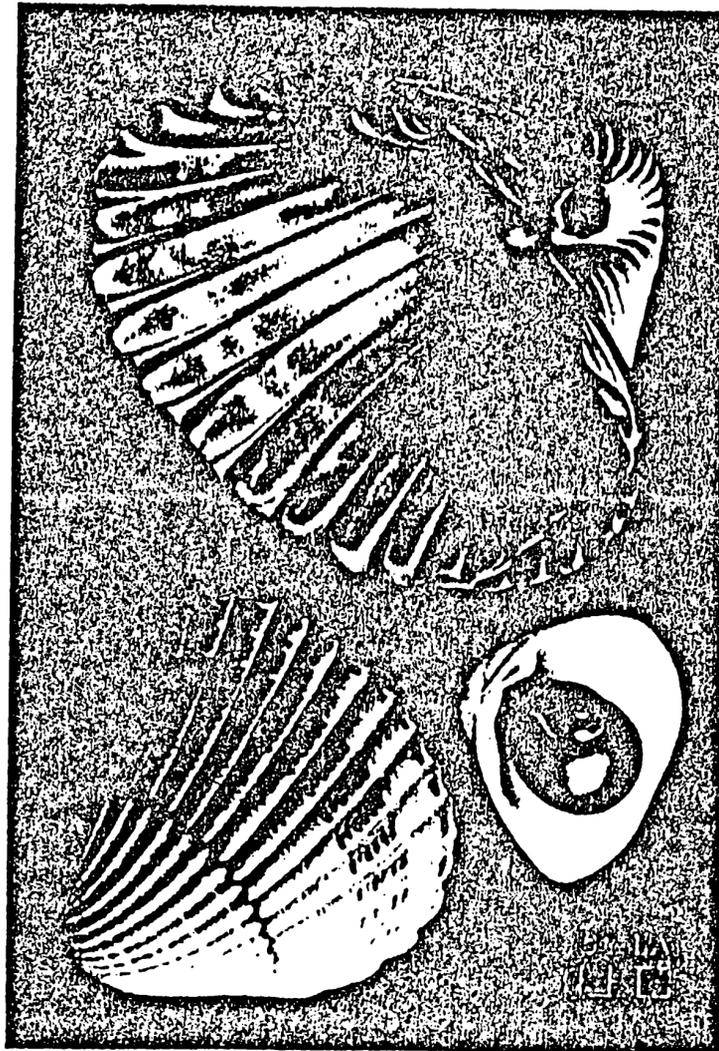
*el engaño está en el discurso, que no sabe que las especies visibles en los diversos medios transparentes se refractan*<sup>17</sup>

<sup>17</sup> *Opere...*, Vol. III, pp. 397-398.

Después de un período de lectura "racionalista" de los trabajos de Galileo, que indudablemente sacó a la luz conexiones racionales esenciales entre experimento y teoría, pero que en ocasiones redujo excesivamente el papel gnoseológico y de criterio de verdad del experimento frente a la coherencia racional de la teoría, algunos estudiosos se dieron a la tarea de criticar la imagen de un Galileo puramente matemático (y filósofo platónico) y a demostrar, con documentos y repitiendo las experiencias, que efectivamente Galileo había realizado las pruebas que menciona y que había sido un cuidadoso experimentador.

Bastante se ha escrito para contestar los esquemas excesivamente racionalistas. Ya en 1942, Enrico Persico insistía en que "los experimentos hechos por Galileo fueron sin duda muchos y probablemente no los conocemos todos.. Realizó además de las ya recordadas de mecánica, varias experiencias cualitativas sobre la flotación de los cuerpos, la medida del peso específico de distintas sustancias hechas con su *bilancetta*, una experiencia sobre el golpe (la *percossa*) de una caída de agua, un tentativo (naturalmente infructuoso) de medida de velocidad de la luz... la medida del peso del aire..."<sup>18</sup>

La recopilación y publicación de Stillman Drake de las *Notas de Galileo sobre el movimiento*<sup>19</sup>, permitió a los estudiosos reconstruir algunos importantes experimentos de Galileo. En ocasiones la reconstrucción dió origen a debates entre los historiadores<sup>20</sup>. Ronald Naylor pone de presente "... el contraste entre los procedimientos experimentales originales de Galileo (que pueden inferirse de sus anotaciones) y las discusiones correspondientes de los *Discorsi ... (Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias)*"<sup>21</sup>. Según Naylor, las experiencias narradas en los textos fundamentales se presentan en forma simplificada, de acuerdo con un interés didáctico y sólo en las *Notas* se advierte la complejidad del experimento y la conciencia que tenía Galileo de esa complejidad. Es posible entonces llegar a conclusiones diferentes sobre el papel de la experimentación en Galileo según que se parta de los textos o de las *Notas*. Las segundas revelarían el problema real del trabajo científico (por ejemplo, se ha visto que Galileo no desconoce la falsedad de la hipótesis del isocronismo del péndulo para distintas amplitudes, pero que no estuvo interesado en difundir sus dudas, entre otras cosas por el interés que tenía en aplicar el isocronismo del péndulo en la medida del



<sup>18</sup> Enrico Persico: *Galileo y la física. Nel 3° centenario della morte di Galileo Galilei, Saggi e conferenze*. Milano, Società Editore vita e pensie. 1942.

<sup>19</sup> *Galileo's Notes on Motion (Arranged in probable order of composition and presented in reduced facsimile)*, by Stillman Drake. *Suplemento degli Annali Dell' Istituto e Museo Di Storia Della Scienza Firenze*, 1979.

<sup>20</sup> Cf. por ejemplo en *ISIS*, 676, 1976 la crítica de William R. Shea y Neil S. Wolff a la interpretación de Drake del folio 116 sobre el movimiento parabólico y la respuesta de Stillman Drake y James Maclahan, donde se confrontan los datos de Galileo y las reconstrucciones de estos estudiosos.

<sup>21</sup> Ronald Naylor: *Galileo: Real experiment and didactic demonstration*, *ISIS* 66-399 (1975).

tiempo<sup>22</sup>. En los textos se destacaría el interés de coherencia y simplicidad. Ya es claro, a partir de trabajos como el ya mencionado de Maurice Finachiaro<sup>23</sup>, que la tarea del científico fundador no consistía sólo en probar o demostrar, sino en convencer.

Lo importante es que la discusión sobre los experimentos de Galileo ha demostrado de modo tangible el carácter determinante del enfoque epistemológico de quien hace la lectura. Es claro que Galileo hizo experimentos. También podemos asegurar que fue muy cuidadoso en algunas ocasiones. Pero no podemos hacer una teoría general del papel del experimento y de su relación con la teoría, en el trabajo del "filósofo geómetra". Los historiadores nos sorprenden frecuentemente con discusiones de detalle cuyo interés sólo se pone de presente cuando explicitamos el hecho de que la historia, frecuentemente, tiene como objetivo defender un punto de vista actual sobre los problemas, intereses y métodos de la ciencia. Tal vez los experimentos que más se han discutido sean los correspondientes al movimiento parabólico (folios 114, 116v y 117)<sup>24</sup>. La insistencia en el origen teórico o experimental de algunos datos consignados por Galileo expresa el fondo ideológico del debate. Pero el que no sea fácil llegar a acuerdos sobre los métodos efectivamente usados por Galileo no quita el interés al trabajo de reconstrucción. Tal vez Galileo utilizó, por ejemplo, un reloj más preciso que el que podemos imaginarnos para medir los tiempos en el experimento de la caída por un plano inclinado. ¡Tal vez, como cree Stillman Drake, utilizó un reloj capaz de medir intervalos menores de 1/10 de segundo! Es posible que Galileo haya contado el tiempo... ¡Cantando! alcanzando una precisión insospechada con el reloj sorprendente de su voz o su laúd; que la bola marcara el tiempo de su melodía, a manera de metrónomo, mientras golpeaba pequeños obstáculos en su descenso; de modo que un mínimo desacuerdo entre ritmos y golpes era fácilmente detectables para el músico, hijo de músico, que había abandonado la medicina fascinado por las matemáticas y que había construido en su propio taller el compás geométrico militar.<sup>25</sup>

Los debates se han dado fundamentalmente a propósito de los trabajos sobre movimiento. Pero se ha avanzado mucho también en la exploración de los métodos en el terreno de la observación astronómica y de las teorías cosmológicas relacionadas con ella. Galileo no conocía el principio del telescopio (sólo menciona las leyes de la refracción, y lo hace en modo tal que pone en evidencia su dificultad para llegar a una descripción como la de la óptica geométrica que Kepler desarrolla en 1510), pero era capaz de realizar observaciones de sorprendente precisión con la ayuda de un micrómetro consistente tal vez en un retículo trazado sobre un papel, al que se superpone ópticamente la imagen del telescopio (mirando con un ojo al retículo, con otro la imagen ampliada del objeto distante)<sup>26</sup>.

Pero, ¿podemos acaso inferir de lo dicho que la ciencia galileana está más centrada en la experiencia que en la coherencia teórica? La respuesta más legítima es que eso no es posible; como no es posible tampoco negar que "minuciosísimas observaciones" y las "experiencias de los sentidos" constituyen junto con las "demostraciones necesarias", elementos esenciales del trabajo científico. Es claro que las experiencias galileanas no fueron solamente pensadas. "... Contra esto sirven de pruebas no sólo las numerosas declaraciones explícitas de Galileo, donde él asegura haber recurrido a la experiencia, sino también las largas, minuciosas, hasta

<sup>22</sup> Cf. Edouardo Proverbio: *Galileo e la misura del tempo, en Novità celesti e crisi del saper; Atti del convegno internazionale di studi galileani*. Giunti Barbera, Firenze, 1984.

<sup>23</sup> Maurice Fianchiaro: *Galileo and the art of reasoning*, D. Reydell Publishing Company, Bordrecht, 1980.

<sup>24</sup> Ver, por ejemplo, Pierre Thullier: *Galileo y la experimentación Mundo Científico (La Recherche)*, 26, 1983. Thullier reproduce el folio 117 y muestra cómo Drake interpreta los números que allí aparecen como medidas experimentales después de obtener él mismo "lecturas parecidas", mientras que Naylor realiza simplemente un cálculo teórico y obtiene "valores idénticos (o casi)" a los números indicados por Galileo.

<sup>25</sup> Cf. Stillman Drake: *The role of music in Galileo's experiments* *Scientific American*, Junio 1975, pp. 98-104.

<sup>26</sup> Cf. S Drake y Ch. Kowal: *Galileo observa Neptuno, Investigación y ciencia (Scientific American)*, No. 53 Febrero 1981.

<sup>27</sup> Carlo Maccagni: *Considerazione sul "metodo"*, SAGGI su G. G Firenze, G Barbera, 1972.



<sup>28</sup> *Opere...*, vol 1 p. 401

<sup>29</sup> W.L. Wissan: *Mathematic and experiment in Galileo*. *Annali del Istituto e Museo di storia de la scienza di Firenze*; III 977, vol. II, p. 153.

<sup>30</sup> *Ibid*, p. 154

ostentosas descripciones, sea del desarrollo de los experimentos, sea de los instrumentos usados en ellos; descripciones que están abundantemente esparcidas, un poco por todas partes, en su obra"<sup>27</sup>. Pero también es claro que tales experiencias están esencialmente ligadas a las razones matemáticas que les dan sentido (aunque haya alguna que parecen separadas de una "teorización" sistemática como las experiencias con imanes, la experiencia con la "piedra de Bolonia" —probablemente sulfuro de bario— capaz de emitir luz estando fría, la experiencia del vino y del agua unidos por un tubo muy delgado y la medida de las frecuencias sonoras mediante las marcas dejadas por el objeto vibrante). La matemática aporta el elemento fundamental de la necesidad racional. La experiencia sin matemática es un juego, un tanteo, una prueba no científica.

En el diálogo del movimiento del período pisano encontramos esta declaración sobre la matemática.

*"¡Oh sutil invención, oh bellissimo descubrimiento! Callen totalmente, callen todos aquellos que creen poder llegar a la filosofía sin el conocimiento de la divina matemática. ¿Y quién negará jamás que, sólo bajo su guía se puede distinguir lo verdadero de lo falso, con su auxilio estimular la agudeza del ingenio, que, en fin, conducido por ella, se puede comprender y entender cualquier cosa que se conozca con certeza entre los mortales?"*<sup>28</sup>.

Estudiosos muy serios como Winifried Lovell Wissan han hecho una lectura tan detallada de Galileo que pueden decir sobre bases firmes que "Galileo no tenía en la mente algo como el método hipotético-deductivo experimental moderno"<sup>29</sup>, ya que los mismos principios de los cuales la ciencia

del movimiento debería derivarse, como ciencia matemática, estaban en discusión y por lo tanto, era "...inevitable que Galileo acudiese a la experiencia tanto como a la razón para determinar cuáles proposiciones utilizar y cuáles descartar (...) Es imposible, por ejemplo, determinar precisamente cómo Galileo llegó a pensar en la ley de los cuadros de los tiempos"<sup>30</sup>

No resulta legítimo ni saludable defender a ultranza un Galileo racionalista o a un Galileo empirista. Tampoco los científicos de nuestro tiempo pueden ser absolutamente fieles a un método. En la carta a Liceti del 15 de Septiembre de 1640, en la cual Galileo defiende su trabajo de los ataques de los aristotélicos de su tiempo, asegurando que interpreta mejor que ellos las enseñanzas del gran filósofo griego, encontramos la voluntad de establecer un equilibrio metodológico entre razones y experiencias que no pueden lograr ni el racionalismo puro ni el empirismo abstracto:

*"Entre las suposiciones (en las cuales se funda el discurso científico) que Aristóteles enseña en su lógica está la que se refiere a hacerse cautos para evitar las falacias del discurso, orientándolo y adiestrándolo a silogizar bien y a deducir de las premisas concedidas la conclusión necesaria: y tal doctrina hace referencia el modo correcto de argumentar. En cuanto a esta parte creo haber aprendido de las innumerables demostraciones de los matemáticos puros, jamás falaces; tal seguridad en el demostrar que, si no nunca, al menos rarísimas veces haya caído en equivocaciones yo cuando argumento. Hasta aquí entonces yo soy peripatético. Entre las seguras maneras para conseguir la verdad está el anteponer las experiencias a cualquier discurso, no estando seguros nosotros de que en éste, al menos encubiertamente, no esté contenida la*

*falacia, no siendo posible que una experiencia fundada sobre los sentidos sea contraria a la verdad; y esto es también precepto muy estimado por Aristóteles, y antepuesto con mucho al valor y a la fuerza de la autoridad de todos los hombres del mundo...*"<sup>31</sup>

Galileo mismo no podía (y no quería) instalarse en una escuela filosófica definida. Acudía a Aristóteles y a Platón en la medida en la cual podían reconocerse (siempre parcialmente) en sus doctrinas. Hemos visto su original profesión de fe aristotélica: veamos uno de los posibles ejemplos de su voluntad de presentarse como heredero de Platón.

*"Para poner en el título del libro de las obras completas: de aquí se comprenderá cuál es la utilidad de las matemáticas para concluir sobre las proposiciones naturales y cuánto es imposible filosofar correctamente con la escolta de la geometría, de acuerdo con la sentencia verdadera de Platón"*<sup>32</sup>.

Galileo no es, pues, un platónico puro, ni un puro aristotélico; no es un puro físico teórico, ni un físico experimental puro; o bien, no es un puro racionalista, ni un positivista ni un empirista, sino que, instalado en el tronco del cual todos estos especímenes parcializados se desprenden, puede ser recogido y ensalzado por todos, vilipendiado por todos y, fragmentariamente citado, puede apoyarlos a todos.

En el contexto de los debates que tuvo que afrontar, Galileo acudió frecuentemente a los argumentos filosóficos de sus propios contendientes; no podemos pretender que sus declaraciones filosóficas tengan el lenguaje que hubiera sido posible si se hubiera expresado libremente (aunque en ocasiones, como cuando piensa en el título de sus obras, esté hablando consigo mismo). El camino más

correcto para investigar sus puntos de vista parecería ser el examen de sus propios trabajos; pero tampoco allí es fácil defender una imagen epistemológica "pura", no resulta legítimo separar la "retórica" de los "experimentos", las generalizaciones filosóficas de los cálculos. Muchas de las argumentaciones filosóficas se basan en cuidadosos cálculos y observaciones (como en el famoso caso de las manchas solares; allí Galileo, midiendo la variación aparente de la distancia entre las manchas solares dedujo que éstas se encontraban en la superficie del sol, y por lo tanto que también éste está sometido a la variación, contra la pretensión aristotélica de la perfección e inmutabilidad de los cuerpos celestes<sup>33</sup>, mientras que, sin duda, tienen razón quienes señalan que no se poseyó una prueba experimental concluyente sobre el argumento fundamental de la movilidad de la tierra ni le era posible deducirla de principios empíricamente fundados.

Como él mismo dice:

*"Pero mi admiración y asombro, Señor Sagredo, es bien diferente de lo que os maravilla: Vos os maravilláis de que son tan pocos los seguidores de la opinión de los Pitagóricos (del movimiento de la tierra en torno al sol); y yo me admiro de cómo haya habido alguno que la haya abrazado y seguido; no puedo admirar lo bastante la eminencia del ingenio de los que han tomado y considerado verdadera y han hecho, con la vivacidad de su entendimiento, tal fuerza a los propios sentidos, que hayan sido capaces de anteponer lo que el discurso les dictaba, a aquello que las experiencias de los sentidos les mostraban como abiertamente al contrario"*<sup>34</sup>

Galileo está convencido de la verdad del modelo copernicano; no tiene un experimento para probarlo; tiene, eso sí, argumentos

<sup>31</sup> *Opere...*, Vol XVIII, p. 249

<sup>32</sup> *Opere...*, Vol VIII, pp. 613-614

<sup>33</sup> Para un interesante análisis de esta cartas ver el Cap. VIII de *La philosophis naturelle de Galilée* de M. Clavelin, Ed. Armand Colin, París, 1968. Existe traducción al español de José Granés: *La razón y lo real*, Mimeo, U. Nacional, sff.

<sup>34</sup> *Diálogo...* III, p. 98

lógicos y experiencias (imaginarias y reales) qué oponer a las pruebas aristotélicas de la inmovilidad de la tierra; pero desde 1609 -Cuando descubre en su telescopio los satélites de Júpiter- no tiene ya ninguna duda de la coherencia de ese sistema, y las observaciones de las fases de Venus de 1610 serán para él una ratificación de la corrección de la teoría heliocéntrica. Galileo no defiende una hipótesis probable de Copérnico, defiende una verdad de la cual está convencido, no sólo sabe que el heliocentrismo es posiblemente un buen modelo para explicar las apariencias, cree ciertamente que expresa el verdadero orden del mundo.

*"Aquellos que persisten en afirmar que Copérnico, como astrónomo, haya tomado solo ex hipotesi la movilidad de la tierra y la estabilidad del sol, en cuanto ésta satisface mejor el salvar las apariencias y el cálculo de los movimientos de los planetas pero que no la diera por verdadera realmente y en la naturaleza, muestran (y sea dicho sin molestarlos) haber creído demasiado a quien habla quizá más por su propia cuenta que porque haya tenido práctica en la lectura de Copérnico o en la comprensión de este asunto..."*<sup>35</sup>.

*"...y en cuanto se refiere al resto de ese admirable sistema, quien quiera estar seguro de la opinión del mismo Copérnico lea no una vana escritura del editor (Osiander), sino toda la obra del autor; así sin duda tocará con la mano que Copérnico ha tenido por verdaderísima la estabilidad del sol y la movilidad de la tierra"*<sup>36</sup>.

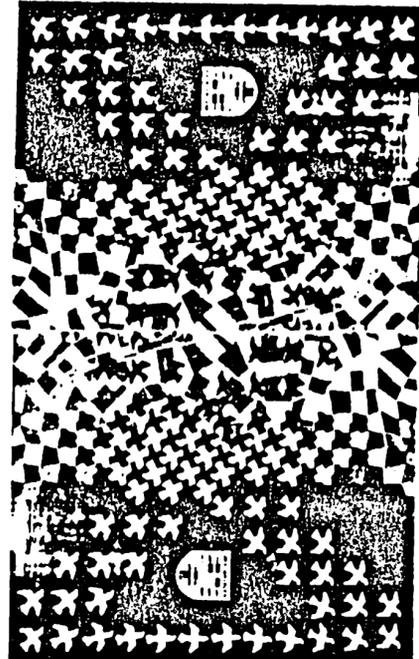
Defiende así la convicción de Copérnico para defender la suya propia. Porque si, para los astrónomos a secas, las construcciones de deferentes, ecuantas y epiciclos no son reales sino invenciones para facilitar los cálculos, esto ya no es así para "... los

astrónomos filósofos, los cuales más allá de ocuparse de salvar las apariencias, buscan investigar como problema máximo y admirable la verdadera constitución del universo, ya que tal constitución es "existe" y es de único modo, verdadero, real e imposible de ser de otra forma..."<sup>37</sup>.

Galileo es, pues, un realista (como la mayoría de los científicos, pese a que juiciosamente afirmen lo contrario); no busca construir un simple modelo de lo real, se ocupa en la investigación de la verdad. Trata de descubrir el "verdadero" el "real", el "único" orden de la naturaleza que sigue ciegamente las leyes de la necesidad. El descubrimiento de ese orden es la meta de la ciencia y no es posible que haya ciencia de lo que no es, o que podamos hacernos cuadros arbitrarios de lo real a nuestro antojo, puesto que la verdad es una, el orden es uno y "... el que busca otro distinto del único que es, busca lo falso y lo imposible"<sup>38</sup>.

*"... Siendo la naturaleza inexorable e inmutable y sin cuidado de que sus recónditas razones y modos de operar sean o no expuestos a la capacidad de los hombres, por lo que ella no trasgrede jamás las leyes que le han sido impuestas"*<sup>39</sup>.

Dos universos de la necesidad aparecen definidos según vemos: el universo de la matemática cuyas deducciones si están correctamente realizadas, permiten igualar la certeza del entendimiento de Dios mismo y el del acontecer físico, cuya necesidad se impone sin excepciones. El acoplamiento de estos dos universos, en la medida en la cual el discurso comprenda y exprese —a través de una ley matemática— la necesidad y el orden esenciales, es lo que genera la verdad. El lenguaje en el cual lo necesario se expresa debe expresar



<sup>35</sup> *Opere...*, Vol V, p. 354.

<sup>36</sup> *Ibid*, pp. 362-363. Existe traducción española de estas Consideraciones sobre el sistema copernicano en el texto de Blanca Inés Prada: *Galileo Galilei (su vida, su obra y su aporte al desarrollo del método de la ciencia moderna)*, Ed. Tercer Mundo, Bogotá, 1983, pp. 116-127.

<sup>37</sup> *Galileo, Storia e dimostrazioni intorno a la Macchie Solari*, Ed. Theoria, Roma, 1982, p. 27.

<sup>38</sup> *Opere...* Vol VII, p. 700.

<sup>39</sup> *Carta a B. Castelli, 21 de Diciembre de 1613. Opere...*, Vol V, p. 283.

esa necesidad.

*"Aquello que en todas las ciencias demostrativas es necesario observar debemos seguirlo en este tratado (la mecánica): esto es, proponer las definiciones de los términos propios de esta disciplina y las primeras suposiciones, de las cuales, como de fecundísimas semillas, pululan y brotan consecuentemente las causas y las verdaderas demostraciones de las propiedades de todos los instrumentos mecánicos"*<sup>40</sup>.

Las matemáticas permitirán "considerar en universal" las ventajas de los instrumentos mecánicos y corregir el error de los artesanos mecánicos que pretenden "...a muchas operaciones imposibles por su naturaleza, aplicar máquinas... en la creencia de poder mover y alzar grandes pesos con poca fuerza, engañando, en cierto modo con sus máquinas a la naturaleza, instinto de la cual, más aún, firmísima constitución en que ninguna resistencia puede ser separada por una fuerza que no sea más potente que ella" <sup>41</sup>. La matemática devela el misterio de la palanca: la fuerza pequeña debe recorrer una mayor distancia, en modo tal que los productos de las fuerzas por las distancias son iguales. Develado el misterio de la palanca, resta mostrar cómo las demás máquinas se reducen a ella y deducir del mismo principio las explicaciones de los distintos instrumentos mecánicos.

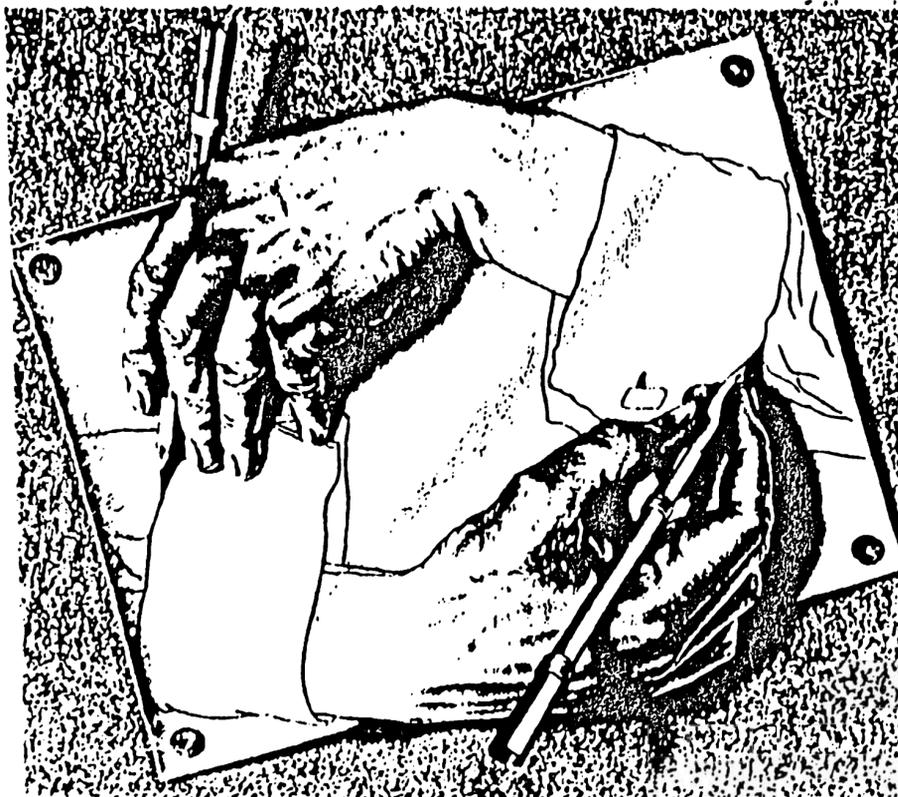
Cuando Sagredo, en los *Discursos*, se sorprende de que las máquinas rigurosamente proporcionales no tengan la misma resistencia, cuando "... todas las razones de la mecánica tienen su fundamento en la geometría...", Salviati responde precisamente que "... se puede demostrar geoméricamente que las más grandes son siempre, proporcionalmente, menos resistentes que las menores..." <sup>42</sup>. Tomando en cuenta los factores pertinentes, aplicando las leyes de la geometría a las leyes de la naturaleza no puede haber oposición entre la geometría y el mundo ya que este mundo es esencialmente geométrico.

*"La filosofía está escrita en ese grandísimo libro que tenemos abierto ante los ojos, quiero decir, el universo; pero no se puede entender si antes no se aprende a entender la lengua, a conocer los caracteres en los que está escrito. Está escrito en lengua matemática y los caracteres son triángulos, círculos y otras figuras geométricas sin las cuales es imposible entender ni una palabra; sin ellos es como girar vanamente por un oscuro laberinto"* <sup>43</sup>.

Puede decirse que la fórmula "escrito en lengua matemática" es distinta de "esencialmente matemático". En efecto: en el primer caso se trataría de un mundo referido al hombre (al lector) que utiliza un

lenguaje para apropiarse, al modo de la ciencia y la técnica, de lo real. En el segundo, la matemática se presume que pertenece esencialmente al mundo. Cuál haya sido entre éstas la opción epistemológica de Galileo, es algo que no creemos fácil de decidir.

Es verdad que se refirió muy explícitamente en sus *cartas sobre las manchas solares* a la metafísica como una tarea vana e imposible: "porque, o queremos especulando tratar de penetrar la esencia verdadera e intrínseca de las sustancias naturales, o queremos contentarnos con tener noticia de algunas de sus afecciones. Tratar de conocer la esencia, me parece empresa no menos imposible y fatiga no menos vana en las sustancias elementales próximas que en las remotísimas y celestes" <sup>44</sup>.



<sup>40</sup> *Opere... Vol. II, p. 159.*

<sup>41</sup> *Opere... Vol. II, p. 155.*

<sup>42</sup> Galileo, *Consideraciones y demostraciones matemáticas sobre dos nuevas ciencias*, Editora Nacional, Madrid, 1981, pp. 68 y 70. *Opere... Vol VIII, pp. 50-51.*

<sup>43</sup> Galileo, *El ensayador*, p. 61

<sup>44</sup> Galileo, *Storia... p. 95*

Pero es claro, al mismo tiempo, que creía en la existencia de un orden del mundo y que tal orden estaba asociado a una forma geométrica precisa: el círculo:

*“Establecido, pues, este principio se puede concluir inmediatamente que, si los cuerpos integrales del mundo deben ser por su naturaleza móviles, es imposible que su movimiento sea el recto o cualquier otro que no sea el circular. La razón es bastante fácil y manifiesta, puesto que lo que se mueve con movimiento rectilíneo cambia de lugar; y si continúa moviéndose, cada vez que se va alejando más del punto de donde había partido y de todos los lugares por donde sucesivamente ha ido pasando; si este movimiento le conviene naturalmente, parece claro que en un principio no estaba en el lugar propio; y, sin embargo, las partes del mundo estaban dispuestas en un orden perfectísimo. Pero supongámoslas perfectamente ordenadas: resulta evidente que, como tales, es imposible que tuvieran que cambiarse y, en consecuencia, moverse con movimiento rectilíneo, por naturaleza infinito, porque infinita e indeterminada es la línea recta; es imposible que ningún móvil tenga por naturaleza el principio de moverse en línea recta; es decir, hacia donde es imposible llegar, al no existir un término predefinido; pues la naturaleza, como dice el mismo Aristóteles, no comienza a hacer aquello que no puede ser hecho, ni comienza a moverse hacia donde es imposible llegar. Sin embargo, si alguien dijese que la línea recta, y en consecuencia, el movimiento por ella, es realizable infinitamente, es decir, sin tener nunca fin, y que la naturaleza les hubiera asignado, por así decir, algunos términos arbitrarios, y les hubiera dado instintos a sus cuerpos naturales para dirigirse hacia esos términos: yo les respondería que, dejando libre la fantasía, se podría decir que esto sucedió en el primitivo caos, donde indistintas materias andaban vagando confusa y desordenadamente, y que la naturaleza,*

*para ordenarlas con más facilidad se sirvió de los movimientos rectos, los cuales, de la misma manera que a los cuerpos bien ordenados los desordena, así, sirve para ordenar con más facilidad los que están torpemente dispuestos; mas, una vez hecha la distribución y colocación óptima es imposible que en ellos quede la natural inclinación de moverse con movimiento rectilíneo, del cual sólo se seguirá, ahora, el cambio de su propio y natural lugar, esto es, desordenarse.*

*Podemos, pues, decir que el movimiento rectilíneo sirve para transportar las materias que han de servir para la construcción de la obra, pero que, una vez contruida ésta, sólo les queda permanecer inmóviles o, si se mueven hacerlo circularmente; y no diríamos con Platón que incluso los cuerpos mundanos, una vez ya contruidos y establecidos del todo, fueron movidos durante algún tiempo por su Autor con movimiento recto; sino que, una vez llegados a ciertos determinados lugares, fueron empujados uno a uno para que giraran pasando del movimiento recto al circular, donde después se han mantenido e incluso aún se conservan; pensamiento, sin embargo, profundísimo y digno de Platón y sobre el cual recuerdo haber oído razonar a nuestro común amigo ‘Accademico Linceo’”<sup>45</sup>.*

Las posiciones que acabamos de esbozar no necesariamente son contradictorias. En el primer caso el filósofo geómetra se distingue del metafísico en términos del objeto de su reflexión. En el segundo se expresa un punto de vista sobre el orden del mundo, cuyos ecos platónicos es inútil tratar de ocultar (basta con leer *El Timeo*). Una idea de orden universal que, aunque sea distinto del que defenderá la mecánica newtoniana (al igual que Descartes, Newton postuló una inercia rectilínea allí donde Galileo sólo reconoció una inercia circular), servirá como sustituto del orden sustancial, como criterio



<sup>45</sup> *Diálogo...I, pp. 298*

arquitectónico para oponer la cosmología geocéntrica y para debilitar las resistencias y podrá oponer a la inmovilidad de la tierra en el centro, un equilibrio que garantice la estabilidad y la armonía de un universo con la tierra en movimiento.

El círculo está a medio camino entre el espacio dinámico aristotélico y el espacio euclidiano (verdadero y matemático) de la mecánica newtoniana, es un principio de orden, un principio estético. Tales principios han jugado y juegan un papel esencial en la historia de las ciencias.

Si la ciencia moderna no quiere ser sólo guía para la técnica sino filosofía natural, es decir, conocimiento de la naturaleza, deberá suponer la legitimidad y universalidad de sus métodos, el acuerdo entre el modo de proceder y el objeto mismo.

*"...recurrir a las imperfecciones de la materia, capaces de contaminar las purísimas matemáticas, tampoco es suficiente para explicar la desobediencia de las máquinas, en la realidad, a las leyes abstractas e ideales de la mecánica (...) Y puesto que doy por supuesto que la materia es inalterable; es decir, siempre la misma, es evidente que de ella pueden deducirse demostraciones no menor que de las puras y abstractas matemáticas"* <sup>46</sup>.

Galileo tendrá a disposición una teoría de la estructura de la materia. Esta teoría cambiará de forma desde *El ensayador* donde se supone que las sustancias están constituidas de partículas más o menos pesadas, más o menos numerosas, más o menos veloces que son las responsables de las afecciones de los sentidos.

También el calor es una afección, debida a la acción de partículas

igneas sobre nuestro aparato sensible "y tal vez mientras esta utilización y rozamiento permanece y se mantiene dentro de unos mínimos cuantos, su movimiento es temporal y su operación únicamente calorífica; pero al alcanzar después la última y máxima disolución, en átomos realmente indivisibles se crea la luz, con un movimiento, o mejor dicho, con una expansión y difusión instantánea y potente, no sé si debo decir por sutilidad, por su enrarecimiento, por su inmaterialidad o bien por otra condición diferente a todas éstas y no nombrada, potente digo para llenar espacios inmensos" <sup>47</sup>.

El atomismo le ofrece una teoría matemática (o matematizable) de la materia y la sensación.

Pietro Redondi, en su *Galileo herético* <sup>48</sup>, muestra, cómo muy probablemente fue el atomismo la verdadera herejía de Galileo, oculta tras la cortina de humo de copernicanismo (¿cómo, en efecto, podía ser posible que la sustancia del cuerpo de Cristo coexistiese, en la hostia, con los accidentes del pan, cuando sustancia y accidentes dependían de la configuración y el movimiento de los átomos?). Sea o no suficiente la base documental de Redondi, el caso es que la teoría de la materia sufre en los *Discursos* una mutación extraordinaria. Los átomos ya no serán extensos (*quanti*) serán inextensos (*non quanti*).

La materia estará constituida por algo así como un conjunto infinito de ¡...puntos matemáticos! La realidad última de la materia es lo infinitamente pequeño pero de lo infinitamente pequeño no puede predicarse la masa, el peso, la forma... Esto implica una contradicción. Galileo es muy conciente de esta deficiencia de su teoría; por

<sup>46</sup> *Consideraciones y demostraciones...* pp. 69-70.

<sup>47</sup> *El ensayador*, p. 298.

<sup>48</sup> Cf. Pietro Redondi, *Galileo Erético*, Einaudi, Torino, 1983.

ello dice luego de plantearla:

*"Si lo que he expuesto es de vuestro agrado, tenedlo en cuenta; y si no, rputad la cosa vana, lo mismo que todo lo que yo he dicho e id a buscar de otro la explicación más tranquilizante para vuestro entendimiento. Insisto solamente en estas dos palabras: nos encontramos entre los infinitos y los indivisibles"*<sup>49</sup>.

<sup>49</sup> *Consideraciones y demostraciones...*, p. 134.

Esta es, sin duda, una sentencia filosófica. Algunos considerarán que no es prenda de orgullo para Galileo el que se lo distinga (como hemos hecho todo el tiempo) como filósofo. Esta última es la posición de Stillman Drake: él recuerda cómo, en el *Diálogo de Cecco di Ronchiti* —que atribuye a Galileo— el personaje Mateo dice, defendiendo a los matemáticos contra los filósofos: "...¿qué tiene que ver la filosofía en la medición?"<sup>50</sup>.

<sup>50</sup> Cf. S. Drake, *Galileo against the philosopher*. Zeilen & Ver Brugge ed., Los Angeles, 1976. La cita atribuida a Galileo en *Opere...* Vol II, p. 315.

Pero el mismo Galileo no es de esa opinión: en la carta a Belisario Vinta del 7 de mayo de 1610 dice: "Finalmente en cuanto al título y pretexto de mi servicio, yo querría, además del nombre de matemático, que S.A. añadiese el de filósofo, declarando yo que he estudiado más años la filosofía que meses la matemática pura"<sup>51</sup>.

<sup>51</sup> *Opere...*, Vol X, p. 353

En este mismo sentido el libro de Newton lleva el nombre de *Principios matemáticos de filosofía natural*. Ser filósofo en el sentido de los griegos no necesariamente es hacer metafísica y separarse del mundo; es, más bien, ser capaz de fundamentar las propias aseveraciones y buscar la sabiduría con el ejercicio de la voluntad y la razón.

Galileo es pues, sin duda, un filósofo matemático. Pero no por ello es un filósofo platónico; es más bien un filósofo de la técnica. El mundo ideal que la ciencia nueva describe es éste que construimos cada vez más perfectamente con los instrumentos de la técnica. El mundo cotidiano sigue siendo relativamente misterioso porque es muy complejo; pero el mundo del laboratorio y el mundo de las máquinas, que penetra cada vez más y más en la experiencia de todos los días, está siendo ordenado y comprendido desde la ciencia; ésta pone las condiciones ideales para el cumplimiento de la predicción.

La ciencia matemática se cumple en el laboratorio; pero el mundo es visto progresivamente como un inmenso laboratorio y convertido efectivamente en un laboratorio gracias a la técnica.

*"Aquí (en la obra de Galileo), por primera vez, no obstante que desde los siglos mas lejanos la capacidad inventiva humana, el Homo Faber, había creado máquinas e intrumentos, para solucionar los problemas contingentes del hombre, se reconoce la capacidad deductiva experimental de la máquina aplicada a la determinación de las leyes de la naturaleza; lo que significa en particulares condiciones el reconocimiento lógico y gnoseológico del instrumento técnico: la máquima es real y física, aún siendo artificial y lógica; por lo tanto funciona de necesidad según la lógica y según la naturaleza"*<sup>52</sup>.

<sup>52</sup> Carlo Maccagni, *op. cit.*, p. 42



Galileo se reclama "filósofo geómetra"; pero, ¿acaso puede llamarse filosofía lo que hoy reconocemos como el primer capítulo de la ciencia moderna? ¿Tiene acaso la técnica algo que ver con cosas tales como la verdad? si hemos enfatizado el hecho de que el fenómeno del laboratorio es artificial, ¿podemos insistir hoy en que estamos descubriendo la naturaleza

<sup>53</sup> W. Benjamin: *La obra de arte en la época de la reproductibilidad Técnica*, Mimeo, s/f

*Ser filósofo en el sentido de los griegos no necesariamente es hacer metafísica y separarse del mundo; es, más bien, ser capaz de fundamentar las propias aseveraciones y buscar la sabiduría con el ejercicio de la voluntad y la razón.*

como tal?

Es cierto que como ha sabido decir W. Benjamin, "...en el país de la técnica, la visión de la realidad inmediata se ha convertido en una flor imposible"<sup>53</sup>.

El conjunto entero de los elementos dispuestos para el experimento está allí para servir a los propósitos de una tarea racionalmente orientada; su lugar, su movimiento, sus características específicas (forma, dureza, peso, densidad) tienen un sentido en el contexto de la disposición integral que los reúne. La máquina se pone en relación con un criterio de exactitud que está determinado desde la teoría y desde las posibilidades e intereses de la técnica. La máquina existe como algo dispuesto para un requerimiento específico.

Pero ocurre que las máquinas, por su parte, podrán ponerse también al servicio de la exploración de las leyes de la naturaleza. Esto significa que la técnica entra explícitamente en el terreno de la exploración de la verdad. El instrumento científico (el telescopio, por ejemplo) tiene con la verdad un nexo más fundamental. La legitimidad de su uso se basa en que la técnica, al organizar la naturaleza, no puede hacer otra cosa que seguir los dictados propios de ésta. La matemática, aunque no depende, para mantener su coherencia interna, de que las relaciones que postula se cumplan o no en la realidad, es expresión legítima de la necesidad natural cuando está ligada a la experiencia racionalmente ordenada. Lo que ocurre ahora es que la verdad se concibe y se realiza en el espacio abierto por la unidad entre técnica y matemáticas.

Por fin, en esa forma de poner de presente la naturaleza no es posible burlar los límites impuestos por la

necesidad. No sólo se trata de que "...intentar tratar las cuestiones naturales sin el conocimiento de la geometría es pretender hacer lo que no puede ser hecho" sino de que se equivocan los mecánicos al "...querer, a muchas operaciones, por su naturaleza imposibles, aplicar máquinas sobre cuya capacidad han resultado engañados..."

Esto es, que la mirada misma que hace posible la técnica, está condicionada por la coherencia entre la necesidad natural, el lenguaje y el proyecto en el cual nos vemos involucrados.

El mundo que aparece a través de la lente matemática de Galileo es un mundo donde los fenómenos se comprenden a través de situaciones ideales. Y, como se ha dicho, en el espacio que la técnica hace posible, el fenómeno real se aísla, se simplifica, se aproxima con bastante exactitud al mundo real. Pero en verdad este ejercicio de la razón y de la técnica no sólo explica lo previamente dado; crea en la práctica mundos nuevos. En este sentido se invierte la relación escolástica de la verdad como adecuación del pensamiento a la cosa. Se trata ahora de una adecuación de la cosa al pensamiento, que abre espacios nuevos para la manifestación de cosas que el pensamiento debe esforzarse en explicar.

El problema del conocimiento se plantea ahora de forma distinta a como lo había propuesto la filosofía. La actitud del filósofo griego era la de contemplar críticamente lo dado. La razón debía realizar el trabajo de análisis y síntesis de la experiencia y garantizar la distancia frente a las impresiones inmediatas que podían ser fuente de error. Pero lo que el griego buscaba era la esencia,

la naturaleza de las cosas.

El fenómeno producido, en cambio, entra, por su propia naturaleza en el reino de lo disponible, de lo que aparece en el contexto de un determinado proyecto racional y esto significa que no se da simplemente como algo que acaece "simplemente", como ocurre los acontecimientos imprevistos, sino que su modo de aparecer lo dispone al empleo en la industria humana (en la guerra, en la navegación, en la construcción de edificios y máquinas): el isocronismo del péndulo será utilizado como principio de la medida del tiempo y éste como medida del movimiento, el principio de "equilibrio de los planos" y el de los cuerpos flotantes (llamado "principio de Arquímedes")<sup>54</sup>, serán utilizados para la construcción de una balanza de densidades ("la *bilancetta*") y esta a su vez se empleará en las medidas de las proporciones de una aleación, lo que, por su parte, determina un posible lugar en el mercado y en la producción de objetos que involucran la mezcla de distintos metales en proporciones específicas.

Las fórmulas abstractas de la física, que expresan el "secreto" de las máquinas, se pondrán al servicio de la construcción de nuevas máquinas.

A la exigencia de Bacon de la crítica de los ídolos que oscurecen el entendimiento, a la exigencia de Descartes de la duda metódica, se añade una nueva exigencia: la del conocimiento de las matemáticas y la de la organización práctica de la experiencia orientada por ellas.

Frente a las solicitudes de la técnica, la naturaleza se revela como orden geométrico. Pero solo el filósofo—geómetra puede leer y reconstruir ese orden esencial y definir el marco de lo posible. Sólo es factible leer lo que está escrito en el universo a través de una específica dirección de una particular circunscripción y educación de la mirada.

La naturaleza está, de hecho, para Galileo escrita en lengua matemática, pero hace falta aprender geometría para comprender este texto.

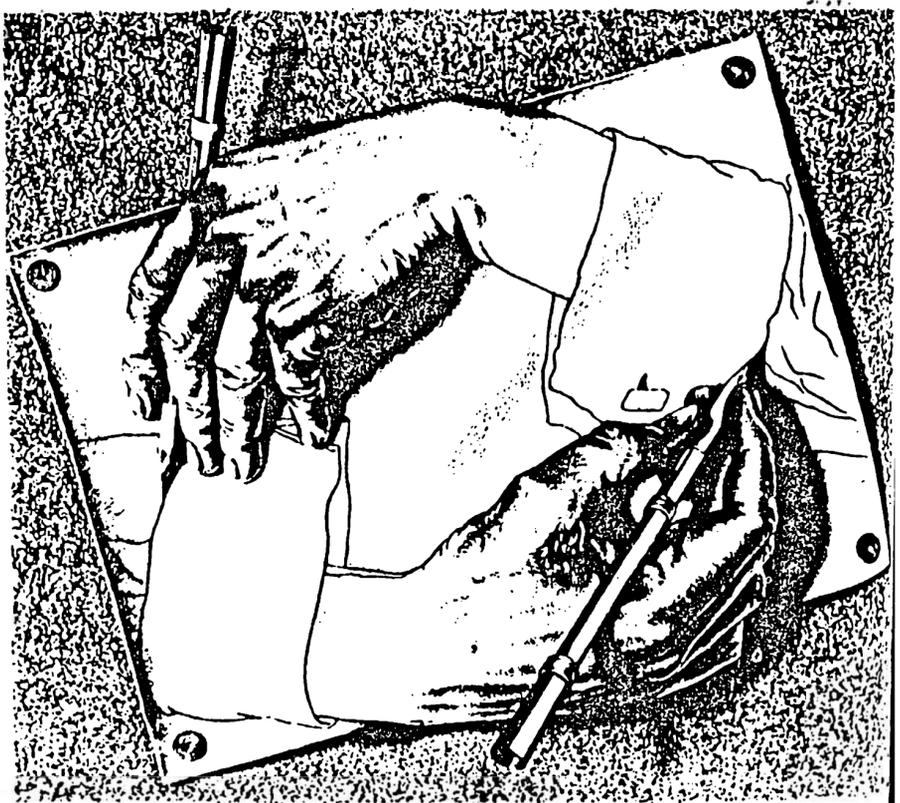
En el espacio abierto por la técnica, se diría que se reemplaza la búsqueda de lo esencialmente verdadero por la seguridad de lo verificable (el mismo Galileo, como hemos indicado, rechaza la pregunta por la esencia); más aún, la verdad habría sido sustituida por la funcionalidad.

Pero hemos visto también que Galileo busca

explícitamente el orden único del mundo, el que verdaderamente es. Lo que ocurre es que la verdad no está allí donde primero se la andaba buscando.

"Entonces, ¿dónde está la verdad? La verdad está en el trabajo de la experiencia realizado por la actividad racional"<sup>55</sup>. Este punto de vista, sintetizado por Bachelard, es el punto de vista de Galileo.

Además de las instancias de su estrategia de investigación ("observaciones cuidadosas", "experiencias razonables" y "demostraciones necesarias") Galileo posee algo más: la convicción que a través del trabajo de exploración de los fenómenos la naturaleza no sólo se manifiesta en el espacio de lo técnicamente disponible, sino que pone al descubierto su propia esencia en el sentido de su universalidad, su coherencia y simplicidad internas, su verdad entendida en coincidencia con los griegos, como develación de lo que estaba oculto.



<sup>54</sup> *The works of Archimedes, With the Method of Archimedes, Edited by T. L. Heath, Dover Publications, inc, New York, 1912. Los principios aludidos son las proposiciones 6, 7 del Equilibrio de los planos: "Dos magnitudes, sean conmensurables o no, se equilibran a distancias recíprocamente proporcionales a las magnitudes" (p.192) y la proposición 7 de Sobre los cuerpos flotantes: un sólido más pesado que fluido, si se coloca en él, descenderá al fondo del fluido y, si se pesa dentro de él, será aligerado de su peso real en el peso del fluido desplazado" (p.258).*

<sup>55</sup> *Bachelard, El compromiso racionalista, S. XXI ed., Buenos Aires, 1973, p. 65.*