ENSAYOS

EL CONCEPTO DE MÁQUINA

Carlos Solís Santos

Dpto. de Lógica, Historia y Filosofía de la Ciencia, UNED.

GIANNI MICHELI, *Le origini del concetto di macchina*, Florencia: Leo S. Olschki Editore, 1995, 181pp.

Este ensayo (180 páginas) trata algunas cuestiones conectadas con los primeros pasos de la especulación física y geométrica sobre máquinas. Se centra especialmente en la obra aristotélica conocida como *Problemas mecánicos* y en menor medida en la tradición del tratado *Del equilibrio de los planos* de Arquímedes (ca. 287-212 a. C.) y en las síntesis de obras mecánicas de los ingenieros alejandrinos como Filón de Bizancio (fl. ca. 250 a.C.) y Herón de Alejandría (fl. 62). Al hilo de los problemas tratados, se traen a colación las interpretaciones de los ingenieros renacentistas italianos, especialmente Gidobaldo del Monte (1545-1607) y Galileo, autor de una obra temprana sobre máquinas, *Le mecaniche*, de finales del siglo XVI.

Antes de evaluar el ensayo de Micheli, expondré esquemáticamente el interés del problema abordado.

Las artes mecánicas en el período clásico

La relevancia de la técnica y las máquinas en la cultura europea del Renacimiento contribuyó poderosamente a borrar los límites entre lo natural y lo artificial desde el punto de vista de la explicación científica. Sin embargo, en la Grecia clásica el uso de mecanismos era insignificante. La excelencia del pensamiento griego en las bellas artes y el saber abstracto no encuentra parangón en el desarrollo técnico.

En el campo de los motores primarios encargados del suministro de energía, dependieron casi siempre de la fuerza muscular humana y cuando recurrieron a animales lo hicieron de forma extraordinariamente ineficiente. El collarín de las caballerías fue un invento medieval. El arreo clásico tendía a ahogar al caballo, de modo que en lugar de hacer el trabajo de una quincena de hombres, hacía apenas el de cuatro y con un consumo de energía similar. Aunque conocieron el molino de eje vertical procedente del Próximo Oriente, ni lo mejoraron ni lo adaptaron a un país con escasas corrientes de agua rápidas y constantes a lo largo del año. Por lo que respecta a la energía eóli-

ca, los antiguos desconocieron el molino. Los griegos siguieron a egipcios y fenicios en el uso de la vela situada perpendicularmente a la quilla en los mercantes, con lo que dependían de vientos favorables de popa en las navegaciones estacionales. En casos críticos, remaban.

La situación es similar en técnicas básicas, como la metalurgia. El beneficio del hierro, descubierto en Asia Menor, se generalizó tarde en Grecia sin desarrollarse mucho. No lograron temperaturas de colado ni controlaron el contenido en carbono, debiendo someter a las piezas forjadas a largos procesos de cementación en carbón vegetal. Incluso en época romana los buenos aceros se importaban de India y China que dominaba la técnica del colado desde el siglo IV a.C., mientras que en Europa el horno alto no aparece hasta la Edad Media.

Los mecanismos de transformación no eran tampoco espectaculares, y con la excepción de sectores críticos como la molienda de grano, el prensado de aceite, las minas de plata de Laurión o la guerra, los instrumentos mecánicos de cierta complejidad eran prácticamente invisibles.

Los mayores desarrollos se produjeron en el caso de la guerra. Dionisio el Viejo de Siracusa (430-367) se rodeó de artesanos del todo el Mediterráneo para incorporar las máquinas de asedio asiáticas a través de los fenicios. El do de pecho de este esfuerzo fueron las *tetres* y *penteres*, galeras de cuatro y cinco filas de remeros por banda que servían tres niveles de remos. El invento fue importante, porque la velocidad era esencial en una técnica de guerra naval que no usaba el abordaje, sino la embestida con el espolón de proa. Con una velocidad por debajo de los 10 nudos quien embiste lleva la peor parte. La vieja *trieres* estaba justo en ese límite, por lo que las *tetres* y *penteres*, que aumentaban la fuerza propulsora manteniendo inalteradas las dimensiones y la rémora, resultaron un logro espectacular. Estos avances empezaron a incorporarse en Atenas al final de la vida de Aristóteles.

Otras armas notables desarrolladas por Dionisio fueron las máquinas de asedio y defensa, como torres, arietes y sobre todo la artillería, cuyas piezas fueron las máquinas prácticas más desarrolladas de la Antigüedad. Las *catapultes* y *ballistas* eran grandes ballestas montadas sobre pedestal que lanzaban dardos contra persona de hasta dos metros de longitud y piedras contra naves o torres de algo más de veinticinco kilogramos con alcances efectivos de unos setecientos y doscientos metros respectivamente. A mediados del siglo IV eran poco conocidas, pues no las cita la *Poliorecética* (ca. 357 a. C.) de Eneas el Táctico; pero cuando Aristóteles andaba por los cincuenta años, ya Arquidamo II de Esparta exclamaba al ver un dardo de catapulta: "Por Herácles, que esto acaba con el valor de los hombres".

La conciencia del mundo de las máquinas

El asombro, padre de la filosofía, llamó la atención sobre el mundo de las máquinas no sólo de Arquidamo, sino también de los teóricos. O Aristóteles mismo o alguien salido de su escuela escribió unos *Problemas mecánicos* (*Mejaniká*) que son el primer tratado que nos ha llegado acerca del mundo de lo artificial. Antes de eso, las máquinas eran objeto de mero asombro.

Los capítulos primero y último del ensayo de Micheli están dedicados a consideraciones léxicas sobre los términos asociados a instrumentos y máquinas. Es un terreno en el que el autor se mueve con cierta soltura, pues es más ducho en cuestiones filológicas que histórico-científicas. De sus observaciones se desprende que en el siglo V a.C. el término 'máquina' se relaciona más con la magia natural, lo asombroso, que con los instrumentos. En un mundo masivamente compuesto por objetos naturales, el mundo físico era un todo orgánico más que mecánico. Lo artificial era un producto de la astucia (*metis*) de los hombres. La máquina (*mejané*) es el resultado de una acción eficaz y sorprendente, una maquinación, una astucia, un expediente. Odiseo es un *polimejanós* o *polímetis*. A partir del siglo III a. C., el término acaba refiriendo no tanto a la 'maquinación' cuanto

al objeto con que se ejecuta, la máquina, cuyos paradigmas son las máquinas bélicas de los Dionisio, Artemón o Arquímedes, no menos que el teatro, donde la *mejané* es una grúa de la que cuelga un actor que hace de dios o héroe para resolver por las buenas asuntos humanos aparentemente sin solución, de donde la expresión *deus ex machina*. También son modelos especiales de máquinas los instrumentos usados en obras públicas para mover y levantar pesos y los instrumentos profesionales, especialmente los quirúrgicos para reducir fracturas y los matemáticos para resolver problemas difíciles, como la cuadratura del círculo, la trisección de un ángulo o la duplicación del cubo, irresolubles con regla y compás.

El primer tratado de mecánica

Antes de la explosión de la invención mecánica del período alejandrino, provocado por la intensidad de las guerras entre los reinos derivados del imperio de Alejandro, no menos que por el incremento del comercio, el mundo de las máquinas era muy reducido. Estaba limitado a ciertas especializaciones profesionales esotéricas o a eventos excepcionales como la guerra o las raras construcciones públicas. Su importancia era poco visible en la vida usual y su carácter, fraudulento: un engaño astuto a la naturaleza. De ahí que la postura más característica sea la de Aristóteles, cuya física se dirige exclusivamente a los objetos naturales que son los que poseen internamente un principio de acción, desarrollo y movimiento, como los animales, las plantas o los elementos. En la *Física* (II, 192b 9-34) señala que las cosas "que poseen una naturaleza" son sustancias, mientras que las artificiales, como una cama, en cuanto tales "no poseen un impulso innato de cambio" y deben definirse por la función impuesta desde fuera. Un animal tiene una estructura acorde a su "naturaleza" y se desarrolla y camina de acuerdo con ella por necesidad. De eso se puede hacer ciencia. Una cama, por el contrario, no es nada según su naturaleza ni se comporta de ningún modo propio estudiable, excepto por lo que respecta al agua, aire, tierra y fuego que componen su materia. Por tanto los objetos artificiales no forman parte de la física o filosofía de la naturaleza.

Esta idea, repetida por la tradición culta medieval y renacentista, hubo de ser combatida en el Renacimiento para dar cabida a lo artificial, especialmente al mundo geometrizado de las máquinas, que pasó a ser el modelo del estudio de la naturaleza frente a la concepción "orgánica" de los clásicos. A partir del siglo XVII, también el sistema del mundo y los animales son máquinas.

Esa tendencia de los mecanicismos del XVII a prestar atención a las máquinas dentro de la ciencia natural fue iniciada ya en los aristotélicos *Problemas mecánicos*, una obra que fue rápidamente eclipsada por el enfoque arquimediano, que tuvo escaso efecto sobre los alejandrinos y que no se tradujo al árabe o al latín durante la Edad Media. La primera traducción latina es de 1517. La lectura de las cuatro primeras páginas del tratado es de un enorme interés dados los lugares comunes que la bibliografía secundaria suele contener acerca del aristotelismo.

Los Problemas mecánicos (Mejaniká)

No sabemos quién es el autor de esta obra. Algunos la han atribuido al propio Aristóteles, como los alemanes J.P. van Capelle o F. Krafft, quien ve en ella las mismas reglas de proporcionalidad entre velocidad, tiempo y espacio, o entre motor, resistencia, tiempo y espacio, que se encuentran en el Libro VII de la *Física* de Aristóteles. Al principio del tratado (847a 29-30) se hace referencia a la teoría aristotélica de que los problemas físicos están subordinados a las ciencias matemáticas, como los ópticos a la geometría, los musicales a la aritmética, los mecánicos a la estereometría o los planetarios a la astronomía, tal como se desarrolla en *Analíticos posteriores* (78b 35-79a 5) o en *Metafísica*, XIII, 3 (especialmente 1078a 1420). Pero otros historiadores han preferido considerar que la obra se debe a algún miembro de la escuela aristotélica, como Estratón de

Lampsaco, quien floreció en la primera mitad del siglo III a.C. en Alejandría, lo que explica la alusión (en 848a 20-36) a los mecanismos de ruedas giratorias de los templos egipcios.

Micheli gasta algo de tinta en estas cuestiones, pero no aclara nada sobre la paternidad del tratado ni analiza los argumentos de unos y otros. Resulta especialmente frustrante que no discuta la concepción aristotélica de las "ciencias mixtas" que aplican las matemáticas como técnica de explicación a los datos suministrados por la observación natural en óptica, música o mecánica, a fin de aclarar el puesto de la teoría de máquinas en el conjunto de las ciencias de la naturaleza.

Los *Problemas mecánicos* son un tratado que consta de treinta y cinco problemas diversos, como por qué los cantos rodados son redondos o por qué la precisión de las balanzas mejora con el tamaño. El esfuerzo teórico es notable. En primer lugar por su novedad, pues aunque Diógenes Laercio dice que Arquitas de Tarento (fl. ca. 375 a. C.) "fue el primero que trató de las máquinas con principios mecánicos", nada nos ha llegado de él. Otros mencionan a un Arquitas arquitecto, autor de un libro de máquinas donde recoge el saber cartaginés, lo que se corresponde con el esfuerzo de Dionisio de desarrollar las técnicas poliorcéticas asiáticas recibidas a través de los fenicios. En cualquier caso, si la transmisión es una medida del mérito, esta obra no consiguió superar el desgaste del tiempo. Pero en segundo lugar, *Los problemas mecánicos* impresionan porque tratan de explicar sistemáticamente, mediante el mismo principio dinámico, todos los problemas de mecánica.

El arranque del tratado es importante porque rompe la relevancia de la separación entre natural y artificial por lo que respecta a la ciencia, frente a la concentración sobre las substancias con un principio propio de cambio sancionada en el ya mencionado libro II de la *Física*. El asombro, del que arranca la actividad teórica, puede producirse, se dice allí, sea por los fenómenos naturales, sea "por los producidos mediante el arte a pesar de la naturaleza, en beneficio de la humanidad". La naturaleza, que actúa constante y regularmente, contradice a menudo los intereses humanos cambiantes, los cuales recurren a máquinas para vencer allí donde la naturaleza nos supera, de manera que fuerzas pequeñas muevan grandes pesos. Tanto este problema como el de las relaciones entre física y matemáticas aludido más arriba hacen aparición en el ensayo de Micheli, pero invariablemente se pierde en detalles filológicos y en la discusión de traducciones sin emplear luego el conocimiento así adquirido en la dilucidación de cuestiones substantivas y en la defensa de tesis que puedan interesar a los lectores de *Asclepio*.

Aparentemente, la diferencia entre los tratados físicos, como *Meteoros* o *Del cielo* y la *Mecánica* es doble. En primer lugar, aquellos no constituyen ciencias matemáticas, sino puramente físicas, mientras que la mecánica es una ciencia matemática "próxima a la física", en la que ésta pone los problemas y aquélla la explicación. Por el contrario, los tratados puramente físicos, son meramente descriptivos, siendo necesaria la incorporación de una rama matemática para acceder a la explicación. Como señala Aristóteles en *Analíticos posteriores*, 79a 11-13, "el conocimiento del hecho cae en el campo del físico, mientras que la explicación del hecho cae en el del óptico en cuanto óptico u óptico matemático". Este tipo de doctrinas aristotélicas deberían corregir la usual imagen de manual de un Aristóteles contrario al uso de las matemáticas en la ciencia, algo especialmente voceado propagandísticamente por Galileo en el *Diálogo* de 1632.

Pero, en segundo lugar, los objetos de los tratados físicos se mueven por naturaleza (*kata fýsin*), mientras que los de la mecánica carecen de un principio propio y lo hacen al margen de la naturaleza (*para fýsin*). Si ello es así, parece ociosa la larga discusión que dedica luego Micheli a la orientación de las figuras (para que el movimiento se deba a la acción de la gravedad, *kata fýsin*). Sugiere, sin embargo que, al margen de cuál sea el origen (natural o artificial) del movimiento, tanto los objetos naturales como los artificiales siguen las mismas leyes generales del movimiento.

No es mala tesis; pero una vez más se ofrece sin una discusión seria y convincente de los textos y de los problemas. Teniendo en cuenta ambas diferencias entre física y mecánica, disponer de un tratado aristotélico de mecánica debería ser una fuente de reflexiones sobre el papel de las matemáticas en la ciencia natural y artificial, así como sobre el carácter y alcance de la distinción entre naturaleza y arte. El texto dice que los problemas mecánicos "no son ni totalmente idénticos ni totalmente distintos de los físicos. Tienen algo en común con las matemáticas y con las especulaciones físicas, porque las matemáticas demuestran *cómo* suceden los fenómenos y la física, en qué medio se producen" (847a 25 y sigs.). Micheli concluye (con muchas más palabras) que la mecánica, en cuanto arte, es física y, en cuanto ciencia, matemática.

La fundamentación de la mecánica aristotélica

Los diferentes problemas mecánicos abordados incluyen más de una docena sobre máquinas simples como cuñas, palancas, balanzas o poleas y sus aplicaciones inmediatas; otros versan acerca de cuestiones náuticas sobre remos, timones y velas; otros atienden al movimiento circular, ruedas y rodillos; algunos explican el funcionamiento de instrumentos artesanales, tenazas, balancines de pozos, cascanueces, hondas y demás; un par de ellos estudian la composición de movimientos tanto rectilíneos (paralelogramos) como circulares (la famosa *rota aristotelica* de Galileo); y finalmente se abordan problemas dinámicos de no conservación del movimiento en proyectiles y arrastre de pesos.

Exceptuando estos últimos, cuyos principios se le escapan como confiesa en el problema 32 (858a 15 y sig.), todos los demás (señala en 848a 12-14) se resuelven remitiéndolos al principio de la palanca, según el cual los pesos son inversos a las distancias al fulcro (problema 3). A su vez, el principio de la palanca se remite a la balanza (problema 2) y ésta al círculo (problema 1). La fundamentación de la mecánica deriva de una mezcla confusa de consideraciones dinámicas y de la geometría del círculo. La idea básica es que los diferentes puntos de un radio que gira movido por una fuerza dada tienen velocidades distintas, tanto mayores cuanto más alejados están del centro. Esa propiedad es una de las "maravillas" del círculo que explica las "maravillas" que nos asombran en las máquinas con que vencemos a la naturaleza. El círculo es un compendio de contrariedades, está generado por una recta que se mueve (en un extremo) y está inmóvil (en el otro); la circunferencia sin grosor es a la vez convexa (por fuera) y cóncava (por dentro), etc. El círculo es así la fuente de las maravillas a la que se remiten los fenómenos asombrosos de la mecánica.

La justificación de esta especie de principio de velocidades virtuales se realiza mediante el primer estudio de la composición de movimientos. Si las dos componentes mantienen una proporción constante, el resultado es un movimiento por la diagonal del paralelogramo formado por los dos movimientos que se componen. Pero en la circunferencia los componentes no mantienen una proporción constante. Según la interpretación más extendida del texto, el movimiento por un arco se entiende como el resultado de componer un movimiento "natural" por la tangente con uno "violento" hacia el centro.

Para el aristotelismo, una fuerza actuante produce un movimiento constante con una velocidad uniforme, por lo que fuerza, movimiento y velocidad son equivalentes. Pero aunque la velocidad sea como la fuerza, es inversa de la resistencia al movimiento generado. Así, en este contexto mecánico, "natural" parece referirse a motor y "artificial" a resistencia a ese motor, al margen de la naturaleza cosmológica o humana de ambos.

Volviendo al argumento del tratado, el movimiento tangencial "natural" del extremo móvil del radio, producido por una fuerza dada recibe la resistencia del movimiento "violento" hacia el centro inmóvil, de modo que cuanto mayor sea éste, menor será la velocidad. Ahora bien, cuanto mayor es

ENSAYOS

el radio, menor es la tasa de acercamiento al centro: desplazamientos tangenciales iguales, UZ y FH, producen acercamientos al centro inmóvil, BU y XF, mayores en radios menores. Por ende la velocidad provocada por la misma fuerza en un radio de mayor longitud, es mayor que la que provoca en otro menor, pues de ese modo se mantiene la proporción entre movimiento "natural" y "violento" (849b 7-10); esto es $GK:BK:HF:XF$.

La aplicación de este principio del círculo a la palanca (problema 3) es más bien opaco, y se ha interpretado como un principio de velocidades virtuales, si bien los desplazamientos no son infinitesimales ni rectilíneos, lo que implicaría el principio de trabajos virtuales. La idea parece ser la de que un peso menor equilibra a otro mayor si su velocidad es tanto mayor que la de éste; es decir, si pesos y velocidades son inversamente proporcionales. Pero ni se dice así ni se demuestra realmente. Parece existir una visión confusa de las velocidades angular y lineal (en nuestros términos), pues la idéntica proporción en radios distintos entre movimiento natural tangencial e impedimento centrípeto parecería exigir la misma velocidad lineal, cosa que sólo ocurre angularmente; pero es la misma fuerza en ambos radios la que genera movimientos tangenciales tanto mayores en radios mayores porque las resistencias (movimientos centrípetos) son inversas del radio. Esto es, la fuerza constante que mueve todos los puntos del radio (UZ, FH) no se compone directamente con el impedimento de la proximidad al centro para generar la trayectoria curva, sino que parece generar primero un movimiento tangencial variable según la distancia al centro, KG, FH, que es la que explica la mayor velocidad del radio mayor y que, siendo proporcional al acercamiento centrípeto en los diversos radios, produce en todos los casos arcos semejantes. Tampoco está claro el paso de radios distintos movidos por la misma fuerza a radios distintos movidos por distintas fuerzas, que es lo que se tiene en la palanca, de modo que en realidad no se demuestra el principio de la palanca.

Tampoco está claro qué se entiende por "natural" y "violento" en las componentes tangenciales y centrípetas que generan arcos. A pesar de las intenciones, los problemas no reciben un tratamien-

to deductiva y geoméricamente efectivo ni se aclara la base dinámica de la geometrización. ¿Se podría decir que las fuerzas iguales son $UZ = FH$ y que producen desplazamientos desiguales BG y XH , inversos de las constricciones centrípetas, BU y XF , correspondientes a desplazamientos tangenciales iguales, UX y FH ?

Si alguien busca la disolución de estas opacidades en Micheli corre el riesgo de frustrarse. Dedica mucho espacio a discutir el carácter natural y violento de los componentes y a retraducir los textos de modo que el movimiento natural sea por el círculo, en consonancia con lo que ocurre en la cosmología, a pesar de que la mecánica no es la física. Se aleja de la interpretación usual del movimiento tangencial como natural, en favor de la naturalidad del movimiento circular en 849a 15, pero silencia otros pasajes claros, como 849b 4, donde no hay confusión posible, pues "el desplazamiento natural igual" en ambos círculos es $UZ = FH$ y no $BZ = XH$; o como el del Problema 8 (852 a 10) sobre por qué es más fácil de mover un objeto redondo. Se trata de un problema corriente en el que la filología y la comprensión del problema por encima de las palabras entran en conflicto. Micheli trata de producir una interpretación inteligible fiel a la literalidad de los textos. No lo consigue a pesar de que esta es la parte más elaborada de su ensayo. Es una lástima, porque la lectura de los tres primeros problemas del tratado es inquietante, desasosegante y apasionante, pues vemos a un autor notable tratando de elaborar una construcción formal en la que fenómenos raros y desconexos se sistematicen conceptual y deductivamente. No consigue lo uno ni lo otro, pero induce en el lector efectos similares a los producidos por el poema de Jabberwocky en la Alicia de *A través del espejo*: "Parece muy bonito, dijo cuando lo hubo terminado, pero resulta un tanto difícil de entender. [...] De alguna manera parece llenar mi cabeza de ideas, sólo que no se exactamente cuáles son". Micheli tampoco.

La estática de Arquímedes y las síntesis mecánicas

La primera sistematización deductivamente efectiva de los problemas de estática fue obra de Arquímedes. Su primer y mayor mérito fue simplificar las cosas prescindiendo de cuestiones dinámicas y físicas relativas a las fuerzas, sus efectos, la relación entre motor, resistencia y velocidad, etc. Para ello se concentró en los casos de equilibrio en los que no hay movimiento. El postulado fundamental sanciona una experiencia común de las pesadas fácil de aceptar por simetría: pesos iguales a distancias iguales del centro de rotación están en equilibrio. Unido a otras ideas comunes cualitativas sobre el descenso de los cuerpos según su peso mayor o su distancia mayor, así como acerca de los centros de gravedad, se demuestran varios teoremas, el principal de los cuales es el principio de la palanca, según el cuál magnitudes conmensurables se equilibran a distancias inversamente proporcionales a los pesos. La técnica de la demostración, como es sabido, consiste en distribuir los pesos por los brazos de la balanza de acuerdo con los teoremas de los centros de gravedad, de manera que la situación se reduzca a la expresada en el axioma fundamental del equilibrio. Así, de una manera modesta y restringida, Arquímedes produjo la primera sistematización deductiva de la estática y la hidrostática que ejerció una enorme influencia en su época, en la Edad Media y en el Renacimiento. La clave del éxito fue dejar de lado la física y el problema del movimiento y sus causas. Todo esto es ya de sobra sabido. ¿Qué tiene que añadir Micheli? Nada. ¿Cuál es su tesis? Ninguna.

Habla luego de las síntesis de tratados mecánicos de Filón y Herón. Éste, por ejemplo, compuso tratados matemáticos para ingenieros en los que, aunque él sea un matemático competente, simplifica los teoremas arquimedianos hasta límites prácticos, sustituyendo las demostraciones por ejemplos numéricos. Otro grupo de tratados se basan en la aplicación de esos teoremas a instrumentos matemáticos y a una mecánica general de las máquinas simples y sus combinaciones. Finalmen-

te, otro grupo de tratados describen y explican máquinas reales, especialmente piezas de artillería y autómatas. La sistematización geométrica de Herón es efectiva, basada en Arquímedes, y no meramente intencional como la de los *Problemas mecánicos*. Sin embargo posee un interés adicional, porque introduce conceptos físicos, fuerzas, movimientos, velocidades y tiempos allí donde Arquímedes se limitaba a situaciones indiferentes de simetría puramente geométrica. Por ejemplo, en la *Catóptrica*, Herón demuestra la ley de reflexión basándose en la naturaleza instantánea de la luz, lo que la obliga a recorrer el camino más corto porque no tiene tiempo para ir por uno más largo. El argumento geométrico de Herón construido sobre esta característica física de la luz consiste en demostrar que la igualdad de los ángulos de incidencia y reflexión es condición necesaria y suficiente de que la trayectoria sea mínima. Es algo muy importante porque indica una tendencia hacia el tratamiento geométrico de sistemas físicos cada vez más complejos que incluyen principios físicos, ausentes de las geometrificaciones tradicionales en el campo de la astronomía, la estática y la armonía, y que abocarán al tratamiento geoméricamente eficaz de la óptica física por parte de Ibn al-Haytam (el Alhacén de los latinos) en la Edad Media o de la resistencia de materiales y del movimiento local por parte de Galileo.

Otro aspecto interesante de los ingenieros alejandrinos es que, al desarrollar la pneumática, una ciencia que trata de lo que hoy consideraríamos efectos de la presión del aire, se encontraron con que la naturaleza no produce espontáneamente vacíos, de manera que es preciso proceder a una indagación sistemática de los fenómenos *artificiales* de laboratorio antes de proceder a una sistematización geométrica de los resultados, con lo que entonces se dieron los primeros pasos rudimentarios hacia lo que luego, en el siglo XVII, sería la filosofía mecánico-experimental; y dado que la mecánica es geometría, hacia una visión matemática de la naturaleza en su conjunto.

La hora feliz de Micheli ha pasado ya. No nos cuenta los detalles de la mecánica herónica ni analiza la medida en que es deudora del enfoque estático de Arquímedes por un lado y del dinámico aristotélico por otro. Lo único que se saca en limpio es que personas como Krafft o Drachmann dijeron cosas que merece la pena leer. Estoy de acuerdo.

El librito sigue con una breve reflexión sobre el destino histórico de los *Problemas mecánicos* y termina con un ejercicio léxico-filológico sobre *mejané* y *órganon* que nada aporta para aclarar los problemas de la historia de la ciencia de la mecánica. Hay un par de apéndices sobre los *Problemas mecánicos* en relación con Galileo y Guidobaldo del Monte que no contienen nada notable.

Como resumen se puede decir que Micheli cita a casi todos los autores clásicos y modernos relevantes, pero no saca nada en limpio acerca de los problemas sustantivos. Frecuentemente se halla más a gusto con las palabras y con el griego que con la mecánica antigua. Pero el problema más grave es que no se sabe qué quiere contar ni cuál es su tesis, por lo que la lectura de su ensayo es un tanto molesta. Es como si hubiera tenido que escribir algo por obligación y hubiese reunido diferentes informaciones relativas a la mecánica aristotélica, sin decidirse ni a contar claramente lo que dijeron nuestros clásicos, lo que sería útil para el lego, ni a discutir las interpretaciones de los hermeneutas, lo que sería útil para el experto. Como no quiere contar a los clásicos ni tiene nada que decir sobre su interpretación, repasa unas cuantas cosas por encima, se pierde en irrelevancias, olvida lo crucial, no muestra la menor línea de desarrollo y aburre incluso a los cefalópodos. Afortunadamente es breve. Se podría aprovechar la bibliografía, pero no hay.