

# Aristóteles, Arquímedes y los orígenes de la mecánica: perspectiva desde la epistemología histórica

Jürgen Renn, Peter Damerow, Peter McLaughlin  
(lecture version)

## La ley de la palanca desde la perspectiva de una historia a largo plazo del conocimiento mecánico

La ciencia de la mecánica tiene más de dos mil años de historia. Sus orígenes se hallan estrechamente asociados al nombre de Arquímedes y su prueba de la ley de la palanca, que no sólo es una de las primeras leyes mecánicas en ser formuladas y demostradas, sino que jugó un papel dominante a través de la historia del conocimiento mecánico. Gracias a un trabajo conjunto con mis colegas del Instituto Max-Planck de Historia de la Ciencia, a continuación voy a analizar los orígenes de la mecánica, desde la perspectiva de la “epistemología histórica” que desarrollamos en nuestra institución. La epistemología histórica en este sentido pretende la comprensión de las estructuras de desarrollo del conocimiento a largo plazo.

Incluso una primera panorámica sugiere que la historia a largo plazo del conocimiento mecánico puede ser dividida en seis períodos distintos:

### Período del conocimiento mecánico

El primer período podemos llamarlo simplemente “prehistoria de la mecánica”; abarca el largo período de tiempo durante el que las culturas humanas acumularon conocimiento mecánico práctico sin que este conocimiento esté documentado en forma escrita, ni hubiera desarrollo de teorías sobre él. Aunque los orígenes de otras ciencias como las matemáticas y la astronomía pueden remontarse hasta las antiguas civilizaciones urbanas de Babilonia y Egipto, de modo sorprendente no es éste el caso de la mecánica. De hecho, aunque hay numerosas fuentes que atestiguan los proyectos de grandes edificios en estas civilizaciones, no hay un simple documento referente al desarrollo mecánico que implicaban tales obras.

El siguiente período es el que propiamente merece el nombre de “origen de la mecánica”. Contiene, en particular, la formulación y prueba de la ley de la palanca. De modo más general, se caracteriza por la aparición de los primeros tratados escritos dedicados a la mecánica y la física, asociados a nombres tales como Aristóteles, Euclides, Arquímedes y Herón. Estas obras tuvieron un enorme impacto sobre el desarrollo subsiguiente. La física aristotélica va a suministrar el fundamento conceptual de las teorías físicas hasta el advenimiento de la mecánica clásica.

El tercer período se caracteriza, en sus inicios, por la transformación de la mecánica en una “ciencia de balanzas y pesos”, en la que una vez más la ley de la palanca jugó un importante papel. Abarca la Edad Media árabe y latina, que vió la producción de una extensa literatura mecánica enfocada, sin embargo, sobre un corto número de temas.

El cuarto período es el de la mecánica preclásica, arrancando desde los bosquejos de ingenieros renacentistas como Leonardo da Vinci hasta las obras de madurez de Galileo Galilei.

En contraste con el período precedente se ocupa de un creciente número de temas, entre ellos el plano inclinado, el péndulo, el movimiento de los proyectiles, el resorte, etc. No obstante, la ley de la balanza siguió jugando un papel importante como fundamento de la mecánica preclásica.

El quinto período es el del “desarrollo de la perspectiva mecanicista”. Se extiende desde las primeras visiones totalizadoras de un cosmos mecánico, como la de Descartes, mediante el establecimiento de la mecánica clásica y luego analítica, hasta los intentos de los científicos del siglo XIX de construir la física sobre una base completamente mecánica.

El sexto período es el de la decadencia de la perspectiva mecanicista y la desintegración de la mecánica hacia 1900, asociado a la emergencia de la física moderna y su revolución conceptual representada por la relatividad y la mecánica cuántica.

Esta ojeada a vista de pájaro sobre el desarrollo a largo plazo de la mecánica plantea una serie de cuestiones problemáticas. Por ejemplo, ¿Por qué y cómo surgió la mecánica en la Grecia antigua y no antes? ¿Qué tipo de conocimiento hizo posible la ley de la palanca y qué conocimiento se requería para probarla? ¿Qué produce las notorias diferencias entre la ciencia medieval de los pesos y la mecánica preclásica? ¿Qué tipo de conocimiento empírico posibilitó la emergencia de la mecánica clásica y qué produce su notable estabilidad durante más de 200 años? ¿Cómo se explica la estabilidad aún mayor de la física aristotélica durante más de 2000 años?

### Tres tipos de conocimiento

En vista de las notables continuidades y discontinuidades del desarrollo del conocimiento mecánico es tentador buscar razones accidentales que expliquen su historia, no conectadas con la naturaleza intrínseca del conocimiento mecánico. ¿Pero es acaso plausible explicar, por ejemplo, el largo dominio de la física aristotélica, que se extiende incluso hasta el período de la mecánica preclásica, con su amplia actitud antiaristotélica, meramente por factores externos como la adopción de la filosofía aristotélica por la Iglesia Católica como doctrina oficial? Tales explicaciones sólo suenan convincentes si se asume que el conocimiento científico está exclusivamente constituido por las ideas científicas y las teorías.

Sin embargo, si se tienen en cuenta otras dimensiones del conocimiento, tales como el conocimiento intuitivo que gobierna el pensamiento y la conducta en nuestro entorno natural, resulta mucho más plausible asumir que ciertos aspectos de la física aristotélica eran tan convincentes para los estudiosos medievales y premodernos como lo son aún hoy para los niños y estudiantes de secundaria.

Resumiendo: me gustaría señalar que la comprensión del desarrollo a largo plazo del conocimiento mecánico debe tener en cuenta, además del conocimiento teórico usualmente considerado por la Historia de la Ciencia, otros dos tipos de conocimiento: la física intuitiva y el conocimiento práctico.

La física intuitiva se basa en experiencias adquiridas de modo casi universal en cualquier cultura mediante la actividad humana. Un segundo tipo de conocimiento mecánico que precede a cualquier tratamiento teórico es el conocimiento mecánico práctico, esto es, el conocimiento alcanzado trabajando con instrumentos mecánicos como la balanza. Al contrario que el conocimiento mecánico intuitivo este otro tipo de conocimiento no es compartido de modo universal por todos los seres humanos. Esto se halla estrechamente ligado a la producción y uso

de tales instrumentos por grupos de profesionales, y consecuentemente se desarrolla a lo largo de la historia.

El análisis de la relación entre los diversos niveles de conocimiento y su desarrollo requiere una descripción apropiada de la arquitectónica del conocimiento. En nuestro acercamiento a la epistemología histórica usamos el concepto de “modelos mentales”, tomado de las ciencias cognitivas y adaptado a sus propias necesidades. Los modelos mentales son estructuras de representación que permiten extraer inferencias a partir de experiencias previas con objetos y procesos complejos, incluso cuando se dispone solamente de información incompleta sobre ellos. Además, las conclusiones basadas en modelos mentales pueden ser corregidas, al contrario que en la lógica formal, según la cual hay que descartar un sistema deductivo si una de las premisas resulta ser falsa.

Un modelo mental consta de una red relativamente estable de inferencias posibles conectando inputs variables. Usamos el término “slots” para indicar los nodos en la estructura que deben rellenarse con inputs que tienen que satisfacer condiciones específicas. Aplicar un modelo mental presupone una adaptación de conocimiento específico a su estructura, esto es, la entrada de información compatible con las condiciones de los slots queda configurada en ellos. El relleno de los slots es el proceso crucial que decide la adecuación y aplicabilidad de un modelo mental a un objeto o proceso específico. Una vez que la configuración ha tenido éxito, es decir, si la entrada de información satisface las condiciones de los slots, el razonamiento sobre el objeto o proceso se halla en gran medida determinado por el modelo mental.

### Modelos mentales

Consideremos un ejemplo; el modelo “movimiento-implica-fuerza” arroja la conclusión, cuando está implicado en la interpretación de un proceso de movimiento, de que el objeto móvil es movido por una fuerza ejercida sobre él por algún motor. Mientras que esta conclusión es incorrecta desde la perspectiva de la física clásica, ya que contradice el principio de inercia de Newton, concuerda sin embargo con la dinámica aristotélica. Y lo que es más importante en nuestro contexto, el modelo “movimiento-implica-fuerza” representa experiencias humanas elementales. De hecho, cuando observamos algún objeto móvil, como un coche por una calle, suponemos normalmente que hay algún motor funcionando que lo dirige mediante su fuerza, incluso cuando el motor mismo y su fuerza no pueden ser directamente observados. La información que falta acerca del motor es sustituida por los valores por defecto del modelo basado en experiencias previas. Sin embargo, si eventualmente se llega a disponer de información empírica adicional, como cuando una mirada más próxima revela que el coche no está siendo conducido por su motor, sino empujado por su conductor, entonces esta información reemplaza al valor por defecto original, sin desafiar por ello al modelo mismo.

Los modelos mentales relevantes para la historia de la mecánica o pertenecen al conocimiento general compartido o al conocimiento compartido de grupos específicos. En consecuencia pueden estar relacionados con los tres tipos de conocimiento que mencionamos anteriormente. Así pues hay, lo primero de todo, modelos básicos de física intuitiva. Un ejemplo es el modelo “movimiento-implica-fuerza” antes descrito. Otro grupo de modelos mentales forma parte del conocimiento específico de profesionales más o menos especializados. Su transmisión histórica está conectada con la de los modelos reales que actúan como sus representaciones externas.

Finalmente están los modelos mentales que pertenecen al conocimiento teórico y que se transmiten mediante una descripción explícita de su estructura y de las condiciones de sus aplicaciones.

Consideremos algunos ejemplos. Una experiencia fundamental del conocimiento profesional desde los tiempos antiguos es la equivalencia del peso de un cuerpo y la fuerza requerida para levantarlo. Esta equivalencia se encuentra recogida de modo prototípico en un modelo real, el de la balanza de brazos iguales. De hecho, la fuerza que mantiene la balanza en equilibrio es igual al peso en la escala. Por tanto, llamamos a este modelo de compensación entre fuerza y peso “modelo de equilibrio”. Sin embargo, el conocimiento práctico de los técnicos e ingenieros de la Antigüedad implica también otras experiencias básicas, y en particular, la experiencia de cómo puede uno sustraerse a la condición de equivalencia entre peso y fuerza. En efecto, el arte del mecánico consistía precisamente en superar el curso natural de las cosas con la ayuda de instrumentos como la palanca. Según este conocimiento, un instrumento mecánico sirve para alcanzar, mediante una fuerza dada, un efecto “no natural” que no podría haberse conseguido sin el instrumento. Así pues, hemos llamado al modelo subyacente en este conocimiento “modelo mecánico” – según el término griego “*mechanae*”, que significa a la vez, instrumento mecánico y trampa, origen de la palabra “mecánica”.

## La ley de la palanca y la invención de balanzas de brazos desiguales

### Problemas de Mecánica

El primer tratado sobre la mecánica que nos ha llegado, es el llamado *Problemas de Mecánica* tradicionalmente adscrito a Aristóteles que nació casi un siglo antes que Arquímedes, en el 384 antes de nuestra era.

En el centro del tratado está el problema de combinar la física aristotélica, según la cual un efecto debe ser proporcional a su causa, con el conocimiento plasmado en el “modelo mecánico” que supone que una pequeña fuerza puede lograr un gran efecto por medio de una tecnología mecánica.

Los *Problemas de Mecánica* consisten esencialmente en treinta y cinco preguntas y sus respuestas; y casi todas siguen precisamente el mismo patrón argumental. Primero, se presenta un problema comenzando con una pregunta como: “Por qué es que ...,” seguido por la descripción de un mecanismo o técnica que le posibilita superar una gran fuerza por una más pequeña. Segundo, ciertos elementos de los arreglos mecánicos construidos a tal fin se identifican con las partes esenciales de la palanca, esto es, con la barra, el fulcro, la fuerza motriz, y el peso a mover. En tercer lugar, la aplicación siempre del mismo principio que se consideraba como característico tanto de la palanca como de la balanza.

Este esquema silogístico puede ser concebido como la aplicación de un cierto modelo mental que nosotros hemos llamado el “modelo balanza-palanca”. Ello sirve para explicar cómo es posible que una fuerza pueda producir un efecto mayor que el natural, aplicando un artilugio mecánico, en contraste con la estricta proporcionalidad entre fuerza y efecto sugerida por el modelo “movimiento-implica-fuerza” que subyace a la dinámica aristotélica.

## La ley de la palanca

¿Pero y sobre la ley de la palanca? ¿Conocía esta ley el autor de los *Problemas de la Mecánica*? El problema tres del tratado, toca explícitamente el tema de la palanca. De acuerdo con el planteamiento general del argumento el problema se plantea de la siguiente forma:

¿Por qué sucede que pequeñas fuerzas pueden mover grandes pesos por medio de la palanca?

A lo largo del argumento, la palanca es identificada, punto por punto, con una balanza de brazos desiguales. Entonces, de repente, aparece la ley de la palanca:

Hay tres elementos en lo relativo a la palanca, el fulcro, el núcleo o centro, y los dos pesos, el que causa el movimiento y el que es movido. Ahora la razón entre el peso movido y el peso que mueve está en razón inversa a las distancias al centro.

La última afirmación no se deduce del argumento precedente, ni siquiera es usado en este u otro punto del tratado, ni tampoco en el desarrollo de la balanza de brazos desiguales. Esta desconcertante aparición de la ley de la palanca, plantea incluso la posibilidad de que el pasaje correspondiente haya sido introducido en el texto por algún copista posterior. Si Aristóteles consideró esta ley alguna vez, ciertamente fracasó en reconocer su importancia.

## La balanza de brazos desiguales

¿Pero que nos dice este tratado de la mecánica sobre los conocimientos en los que se basó el descubrimiento de la ley de la palanca? Acabo de mencionar que el texto trata también de la balanza de brazos desiguales, aunque sin hacer uso de la ley de la palanca para explicar su funcionamiento. ¿Pero qué cosa fue primero: la balanza de brazos desiguales o la ley de la palanca?

Esta cuestión apunta a una sorprendente coincidencia temporal. La balanza fue inventada probablemente en la primera mitad del tercer milenio antes de nuestra era. En Egipto los primeros grabados de balanzas datan del Imperio Antiguo. En Mesopotamia, el uso de balanzas está documentado por medidas de peso que aparecen en documentos del temprano periodo dinástico Fara, esto es, alrededor de 2700 (dos mil setecientos) antes de nuestra era.

Entonces, durante casi 2500 (dos mil quinientos) años no sucedió nada substancial, al menos en lo que concierne a las técnicas de pesadas. Después de este gran periodo de estancamiento, dos cosas sucedieron virtualmente al mismo tiempo. Se inventaron las balanzas de brazos desiguales y, se creó la ciencia de la mecánica a partir del descubrimiento de la ley de la palanca.

Que la invención de la balanza de brazos desiguales precedió a los primeros textos mecánicos está indicado por un texto literario que data de alrededor de cien años antes de los *Problemas de la Mecánica*: la comedia “Paz” de Aristófanes que ya contiene una broma sobre una balanza de brazos desiguales construida a partir de una trompeta. Para convencernos de que fue realmente posible producir una balanza de brazos desiguales sin la ley de la palanca, hemos reconstruido sistemáticamente los conocimientos necesarios para la invención, producción y uso de tales balanzas.

A lo largo de este estudio se han investigado los conocimientos mecánicos de diversas culturas incluidas las Griega, Romana, China e Incaica, con el análisis de hallazgos arqueológicos y también con las prácticas artesanales que han sobrevivido. Tanto nuestro análisis de las antiguas balanzas, en particular las de la gran colección de balanzas romanas conservadas en Pompeya, como nuestro trabajo sobre las prácticas tradicionales en Italia y en China han mostrado que los cálculos relativos a la ley de la palanca no juegan un papel en esas prácticas tradicionales.

Por otra parte, ha quedado también claro que las estructuras de conocimiento documentadas en los *Problemas de Mecánica*, resultan de una reflexión de experiencias hechas posible por la invención de la balanza de brazos desiguales.

### La Prueba de Arquímedes de la ley de la palanca

#### La idea clave de la prueba

Este primer encuentro entre el conocimiento teórico y práctico, representado por el texto de Aristóteles, había tenido lugar hacía tiempo, cuando en algún momento del siglo III antes de nuestra era, Arquímedes escribió su tratado sobre el equilibrio de los planos, que al principio contenía una demostración de la ley de la palanca, formulada en las proposiciones sexta y séptima del mismo. El tratado hace uso de sofisticados argumentos matemáticos que incluyen, en particular, la distinción entre cantidades commensurables e incommensurables. No obstante, la idea clave puede ser expresada en términos relativamente simples tomando un ejemplo específico.

*Primer paso:* Considérese una barra dividida en seis unidades equidistantes y mantenida en su punto medio –por tanto en equilibrio–. Considérese además dos pesos; uno compuesto de cuatro unidades de peso, y el otro de dos unidades de peso.

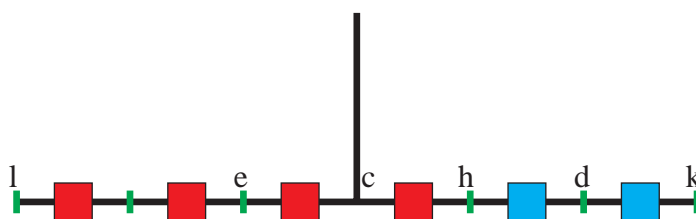


Figura 1

*Segundo paso:* Ahora se toman las seis unidades de peso y se sitúan cada una de ellas en el punto medio de cada una de las seis secciones de la barra. Entonces es evidente que la barra seguirá estando en equilibrio.

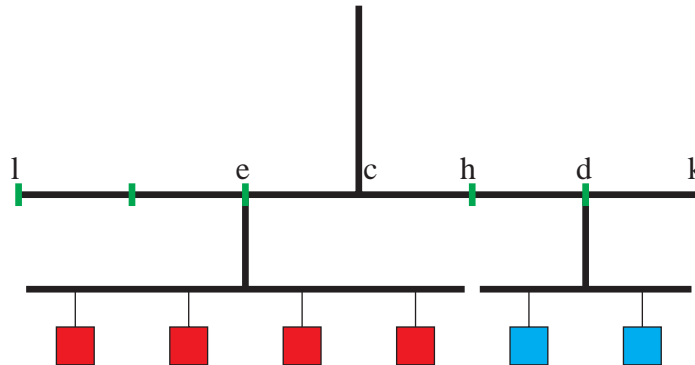


Figura 2

*Tercer paso:* Luego se asume que el efecto de las cuatro unidades de peso no cambia cuando son situadas no una a una en la barra, sino cuando están concentradas en su punto medio, como se muestra en la figura. Igualmente se asume que también el efecto de las dos unidades de peso no cambia si están concebidas como concentradas en su punto medio.

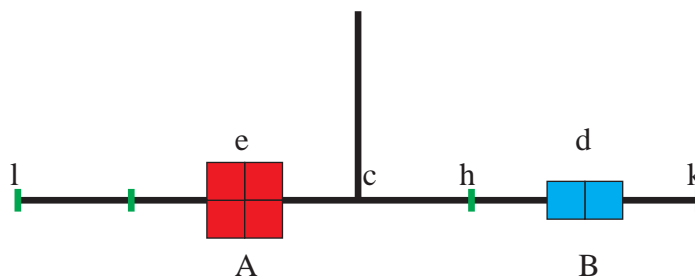


Figura 3

En otras palabras, el equilibrio de la configuración total continúa inmutable cuando los pesos originales de las cuatro, respectivamente, de las dos unidades, están ubicados en esos puntos medios. Así, hemos llegado a una situación en la que el peso A de cuatro unidades está situado a una distancia de una unidad y el peso B de dos unidades está colocado a una distancia de dos unidades. Si el equilibrio no ha cambiado por esta concentración, habremos, por tanto, establecido un caso especial de la ley de la palanca.

La prueba general sigue esencialmente la misma línea de razonamiento preparada por un número de postulados expuestos al comienzo del tratado y en las proposiciones precedentes derivadas de ellos.

### La crítica de Mach sobre la prueba de Arquímedes

Queda claro que el punto crítico de la prueba de Arquímedes es, sin embargo, no su parte matemática, sino el último paso de nuestro análisis, esto es, la cuestión de la legitimidad de sustituir un grupo de pesos iguales, situados a distancias iguales en una barra, por un único peso igual a su suma y ubicado en el punto medio de la distancia abarcada por estos pesos.

La legitimidad de esta concentración de los pesos ha sido cuestionada a finales del siglo diecinueve por el historiador y filósofo de la ciencia Ernst Mach. Él argumentó que este paso presupone prácticamente lo que tiene que ser demostrado, la ley de la palanca. De hecho, defendió que este paso supone la hipótesis de que desplazamientos iguales de un peso situado en una barra desde y hacia el punto de soporte se anulan uno al otro, lo cual supone que el efecto de un peso ubicado en una barra es una función lineal de distancia, una presuposición esencialmente equivalente a la ley de la palanca.

Un estudio más cercano a la prueba de Arquímedes revela, sin embargo, que él en realidad no habla sobre esos desplazamientos de pesos. En su análisis, el historiador Dijksterhuis enfatiza que, en el paso crítico de su prueba, Arquímedes hace uso del concepto de centro de gravedad para justificar que los pesos originales mantienen el sistema en equilibrio.

Sin analizar en detalle el curso de la línea argumental de Arquímedes, queda claro que su uso del concepto de centro de gravedad presupone esencialmente tres propiedades:

1. El centro de gravedad de una configuración simétrica como la utilizada en la prueba estará en el punto medio de la configuración.
2. Si un cuerpo es mantenido (o suspendido desde) su centro de gravedad, estará en equilibrio.
3. Cuerpos de igual peso pueden ser sustituidos uno por el otro sin que cambie el estado de equilibrio en tanto sus centros de gravedad coincidan.

De hecho, estas propiedades están todas introducidas en la primera parte del tratado, bien en los postulados, o en las proposiciones demostradas.

La tercera propiedad está formulada, al parecer, de manera un tanto oscura, como sexto postulado, en el que se lee:

Si magnitudes a ciertas distancias están en equilibrio, otras (magnitudes) iguales a ellas estarán también en equilibrio a las mismas distancias.

El término “magnitud” es usado por Arquímedes para denotar un cuerpo genérico de forma no específica en la medida en que puede ser representado por su centro de gravedad y su peso. Esto es, “magnitud” describe una entidad compatible con el sistema axiomático de Arquímedes. El sexto postulado propone, por tanto, que magnitudes iguales en este sentido abstracto pueden ser sustituidas unas por las otras si colocadas en la palanca (o suspendidas desde una balanza) sin que se modifique el estado de equilibrio. Entendido esto, el paso crucial de la prueba de Arquímedes está justificada.

¿En qué conocimientos está basada la prueba?

¿Pero, está ella realmente justificada? Permítanme retornar una vez más a la crítica de Mach.

El punto de partida de su análisis era de asombro ante la mera posibilidad de la prueba de Arquímedes:

A partir de la mera presuposición del equilibrio de pesos iguales a distancias iguales ¿se deriva la proporción inversa entre peso y brazo de balanza! ¿Cómo es ello posible?"

El análisis anterior no ha ciertamente refutado la legitimidad de la búsqueda de Mach sobre los fundamentos epistémicos de la demostración de Arquímedes. ¿Cuál es el conocimiento en que se basa esta prueba? Se responde mejor a esta pregunta con la ayuda de nuestra descripción de las estructuras de conocimiento en términos de modelos mentales. El concepto de magnitud de Arquímedes, en conexión con los conceptos de peso y centro de gravedad, funciona efectivamente como los modelos mentales introducidos anteriormente –me referiré al modelo correspondiente como el “modelo de centro de gravedad”–. Puede ser aplicado a cualquier cuerpo pesado, permitiendo sustituirlo mentalmente por su peso total y el centro de gravedad. Sus slots son por tanto el cuerpo pesado, su peso total y el centro de gravedad. La estructura del modelo esta determinada señalando que cualquier eje a través del centro de gravedad convierte al cuerpo en una balanza en equilibrio; en palabras de Pappus:

Diremos que el centro de gravedad de un cuerpo es un punto dentro de él que es tal que, si concebimos el cuerpo suspendido desde este punto, el peso suspendido permanece en reposo y conserva su posición original.

En otras palabras, el modelo de centro de gravedad permite concebir un cuerpo como una balanza generalizada con un fulcro y una distribución de pesos alrededor de él. A diferencia del fulcro, sin embargo, el centro de gravedad no tiene que ser ya un punto distinguido físicamente que puede ser identificado por pistas visuales, sino que su identificación es en realidad el resultado de la aplicación del modelo a un cuerpo pesado. De hecho, el modelo de centro de gravedad puede ser aplicado a cualquier cuerpo, se parezca físicamente o no a una balanza.

¿A qué tipo de conocimiento pertenece el modelo de centro de gravedad? Tiene claramente sus raíces en el conocimiento práctico relacionado con las balanzas al estar incluido en el “modelo de equilibrio” y también en observaciones sobre la estabilidad de los cuerpos. Pero no es concebible la aparición, ni tampoco la transmisión de este modelo mental sin su representación en lenguaje escrito y por este motivo pertenece al conocimiento teórico.

Es por tanto plausible suponer que el modelo de “centro de gravedad” se obtuvo como resultado de una reflexión sobre la aplicabilidad del “modelo de equilibrio” a todos los cuerpos. En realidad, la aplicación de un modelo mental a diferentes objetos y procesos y el resultado de tales aplicaciones pueden convertirse ellos mismos en objeto de razonamiento que produzca nuevo conocimiento, siempre que tal conocimiento sea representado apropiadamente –en nuestro caso a través del lenguaje escrito–. Así, la aplicación de un modelo mental puede conducir a cambios –en nuestro caso a una generalización– de ese modelo por una reorganización deliberada de su estructura como resultado del metaconocimiento acumulado obtenido por reflexión.

Como ejemplo de tal reorganización podemos tomar la transformación del concepto de fulcro en el de centro de gravedad. Mientras en el modelo de equilibrio el fulcro se caracteriza primariamente por sus propiedades físicas en cuanto punto de inflexión de una balanza, y sólo entonces por las funciones que realiza como consecuencia de la aplicación del modelo, en el modelo más desarrollado esas propiedades secundarias se convierten ahora en las propiedades primarias del centro de gravedad. Debido a las nuevas cualidades abstractas que asume el concepto de fulcro cuando se generaliza en el concepto de centro de gravedad, puede ahora ser aplicado repetidamente, haciendo posible que se conciba a su vez el punto de suspensión de un peso como nuevo fulcro de otra balanza. Esta aplicación repetida del concepto de centro de gravedad es de hecho el aspecto crucial de la prueba de Arquímedes. Como muestra la figura 2, incluso esta repetición puede visualizarse como una compleja combinación de balanzas –con la importante diferencia, sin embargo, de que las operaciones sustitutivas necesarias para que la prueba de Arquímedes funcione se justifican solamente mediante el concepto abstracto de centro de gravedad y no mediante balanzas concretas.

Nuestra respuesta a la cuestión de las raíces epistémicas de la prueba arquimediana de la ley de la balanza puede ser resumida como sigue: la prueba usa esencialmente el modelo de “centro de gravedad” resultante de una abstracción reflexiva sobre el “modelo de equilibrio” enraizado en el conocimiento práctico, hecho posible gracias a la representación de ese conocimiento en términos de lenguaje escrito.

La primera instancia de tal representación que nosotros conozcamos es la de los *Problemas de Mecánica* de Aristóteles, que contiene también la primera formulación conservada del teorema a demostrar, la ley de la palanca. A modo de conclusión volveré una vez más a ese texto que se puede caracterizar apropiadamente como el verdadero inicio de la ciencia de la mecánica. Como ya hemos visto, el texto de Aristóteles formula explícitamente el modelo balanza-palanca, transfiriendo las experiencias de los profesionales con balanzas de brazos desiguales al lenguaje escrito. Pero contiene también una primera generalización del modelo de equilibrio para el caso de una balanza con una barra material, es decir, una barra que tiene peso. Por lo que se ve, es necesario distinguir entre el caso en el que la balanza está suspendida desde arriba y el caso en el que está sostenida desde abajo.

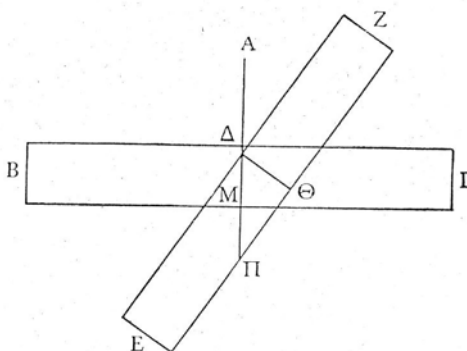


Figura 4: ¿Por qué ocurre que, cuando uno quita el peso que ha inclinado hacia abajo la balanza [cuando está suspendida desde arriba] se eleva otra vez, pero cuando está sostenida desde abajo, la balanza no se eleva sino que se queda donde está?

La respuesta se basa en considerar la línea perpendicular que atraviesa el punto de suspensión, que representa un plano que divide la balanza en dos partes. La relación entre los pesos de estas dos partes de la balanza decide ahora si ésta se elevará de nuevo o no. De este modo, el modelo de equilibrio se generaliza para aplicarlo a la propia barra suspendida, sin los pesos que suelen acompañar una balanza. El criterio para que se mueva o se quede en reposo no consistirá ya en la relación entre esos pesos, sino en la relación entre las dos partes divididas por el plano perpendicular que atraviesa el punto de suspensión. Aunque aplicado al caso especial de la barra material de una balanza, bien suspendida desde arriba o sostenida desde abajo, este modelo funciona para todos los cuerpos y selecciona de modo natural el caso en el que las dos partes son de igual peso. Con la barra material esto ocurre si ésta queda suspendida por la mitad; en otras palabras, si está suspendida desde su centro de gravedad. Por consiguiente, lo anteriormente expuesto nos proporciona, cuando lo leemos a la inversa, una primera caracterización del centro de gravedad: como el punto desde el que, suspendido un cuerpo, se queda en reposo y conserva su posición. Sin embargo, esta caracterización es exactamente la definición de centro de gravedad dada por Pappus y adscrita por Dijksterhuis a una temprana tradición de teoría baricéntrica. Así pues, nuestro análisis ha hecho posible remontar esta tradición hasta los Problemas de Mecánica de Aristóteles y por tanto hasta lo que representa el primer encuentro entre la tradición teórica y el conocimiento mecánico práctico.

*Max Planck Institute for the History of Science, Berlin*