

Marin Mersenne

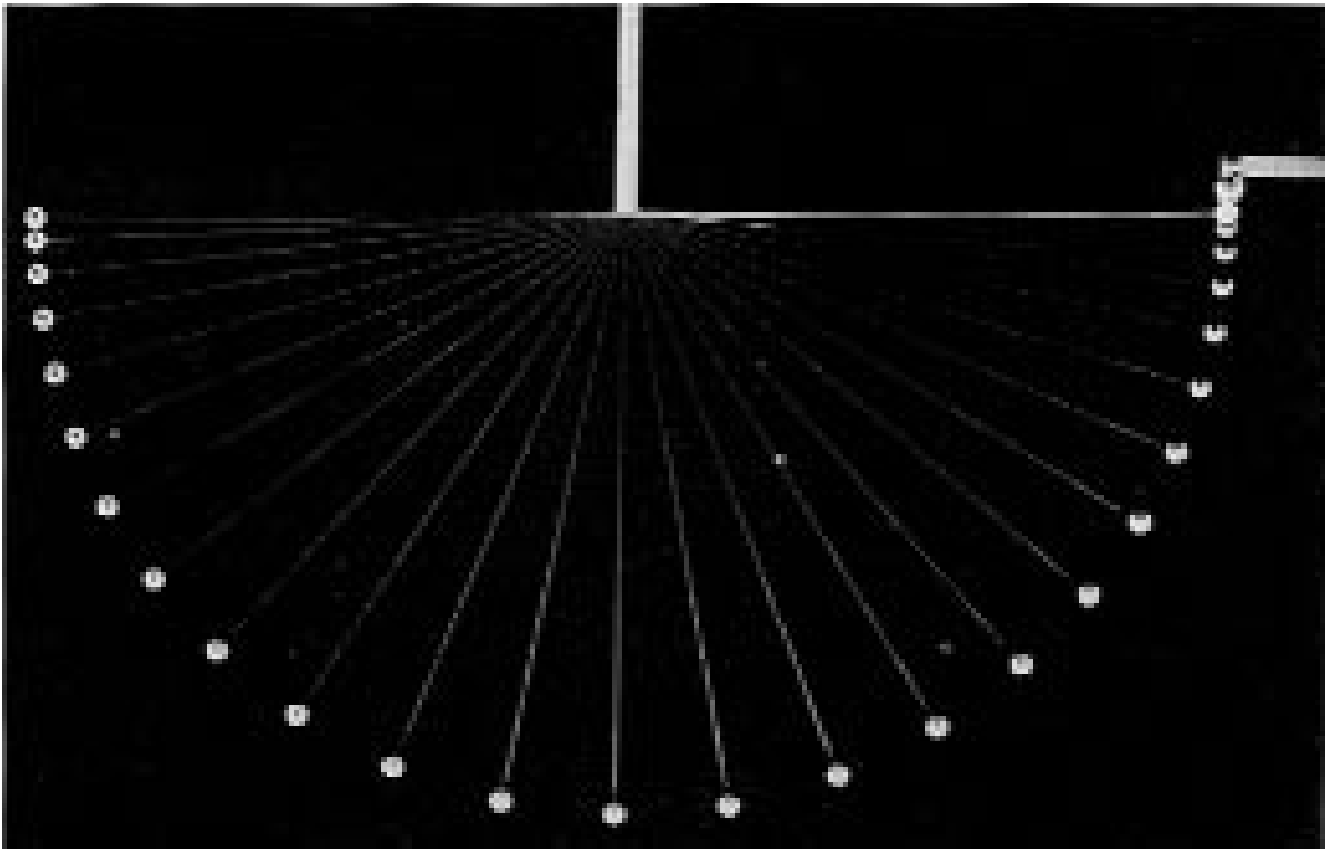
más que un promotor de la ciencia

Las generaciones de científicos de las que salieron Galileo, Descartes, Vesalio y Harvey requerían nuevos foros para intercambiar los descubrimientos de los individuos y fomentar el enriquecimiento mutuo y la comunicación con científicos de todo el mundo. Las comunidades científicas se convirtieron en parlamentos cuyas sesiones se celebraban en las lenguas vernáculas. Las ponencias no tenían que ser parte de un gran sistema de pensamiento, bastaba que fueran interesantes, inusuales o novedosas. Los límites de lo ahí presentado quedaban entre la ciencia y la tecnología, entre lo profesional y lo propio de un aficionado. De esta nueva forma de intercambio de ideas e información nació un nuevo y más amplio concepto de la ciencia. Al mismo tiempo, estos parlamentos de científicos requerían un nuevo tipo de personaje con capacidad para estimular y conciliar. Un amigo de los grandes y de los ambiciosos, pero que no constituyera un peligro que compitiera con su fama. Debía tener capacidad para comunicarse con ellos, ya que en esta época muchos científicos importantes ya no escribían en latín sino en su lengua materna.

Marin Mersenne, nacido en 1588 y muerto en 1648, fue un ejemplo de este nuevo hombre de ciencia. Nacido

en el seno de una familia trabajadora del noroeste de Francia, después de estudiar en un colegio de jesuitas y de licenciarse en teología por la Sorbona ingresó a la recién fundada orden franciscana de los Mínimos, que era todavía más estricta que las demás en las reglas de humildad, penitencia y pobreza. Mersenne ingresó al monasterio que los Mínimos tenían en París y allí, salvo algunas cortas salidas, vivió hasta su muerte. En ese lugar reunió a algunas de las mentes más brillantes de la época; en las conferencias que él organizaba participaban Pierre Gassendi, Descartes y muchos otros. En su celda fue donde Pascal conoció a Descartes. La correspondencia que Mersenne mantenía con los científicos de su tiempo iba a lugares tan dispares como Londres, Túnez, Siria y Constantinopla. Él recibía los últimos descubrimientos e ideas de Huyghens, van Helmont, Hobbes y Torricelli. Dada su personalidad era el perfecto intermediario de una comunidad de sabios irascibles y mordaces. Mersenne no tenía pretensiones de *prima donna*, así que obtuvo la confianza de los científicos, mismos que escuchaban sus consejos.

Mersenne se relacionó con personajes muy variados en su red de correspondencia. Publicó también una versión francesa de las obras de Galileo, pero se resistió a defender



José Luis Álvarez García y Yolanda Posadas Velázquez

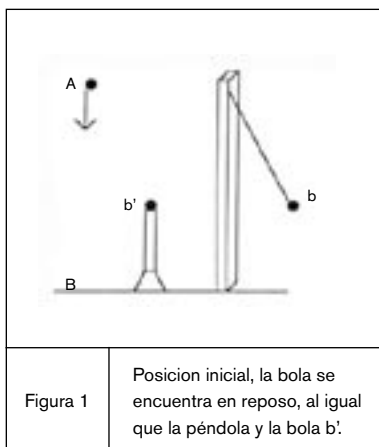


Figura 1

Posición inicial, la bola se encuentra en reposo, al igual que la péndola y la bola b'.

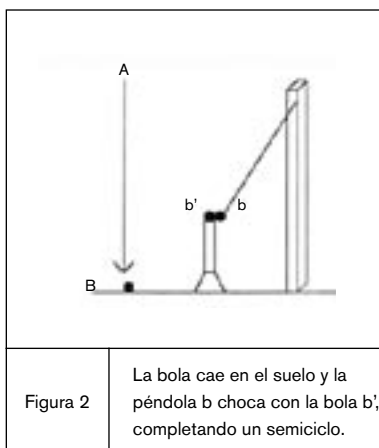


Figura 2

La bola cae en el suelo y la péndola b choca con la bola b', completando un semicírculo.

la nueva astronomía. Mandaba información a Inglaterra sobre cualquier experimento realizado en París y pedía que le informaran sobre cualquier actividad científica que ocurriera en Inglaterra. Todas estas experiencias fueron plasmadas en un libro titulado *Cuestiones teológicas, físicas, morales y matemáticas*. Mersenne mantenía un intercambio muy activo con científicos ingleses, enviándoles libros franceses a la vez que recibía libros de Londres. De esta manera, el padre Marin inspiró en la isla británica un tipo de parlamento científico más formal, mismo que cristalizaría más tarde en la creación de la Royal Society.

Mersenne inspiró también la creación de otras reuniones de científicos en París, organizadas por personajes acaudalados de la época. No obstante, hasta su muerte, en 1648, el verdadero centro de la ciencia francesa siguió siendo su celda en el monasterio de los Mínimos.

La labor de Mersenne no se limitó solamente a ser un promotor de la ciencia. Siguiendo el camino marcado por Galileo, publicó y cuestionó experimentos de éste que

influenciaron a otros científicos que ayudaron a la conformación del experimento moderno en la física. En particular, realizó experimentos sobre la caída libre y en sus experimentos con péndulos descubrió su anisocronía. Sin embargo, el fraile se restringió solamente a reportar los resultados de su trabajo y no se dio cuenta exacta de las implicaciones de sus investigaciones en el contexto de la naciente física galileana.

La aceleración gravitacional

En su obra titulada *Harmonie universelle*, Mersenne da a conocer sus experimentos respecto a la medición de la "proporción entre los espacios y los tiempos" en el fenómeno de la caída libre. Una de las novedades es la introducción del péndulo como reloj; sugerencia debida con toda seguridad a Galileo.

Se sabe que empleó un péndulo cuya longitud era de $3 \frac{1}{2}$ pies de rey o pies reales (1 pie real = 32.87 cm), con un semiperiodo de oscilación un poco mayor que un segundo. La forma de medir el tiempo es interesante. Él ordenaba que uno de sus asistentes colocara una bola en el punto A (figuras 1 y 2) y la soltara tan pronto el fraile hiciera lo mismo con una péndola b que tenía sujeta en las manos. Cuando aquella llegara al suelo (punto B), se fijaría si la péndola había chocado con la bola fija b' colocada simétricamente respecto a aquélla; si no era así, volvía a repetir todo el procedimiento, modificando únicamente la altura inicial AB. Es obvio que en un primer intento no consiguió establecer la sincronía entre la llegada de la bola al suelo y el tiempo correspondiente al semiperiodo de oscilación del péndulo. Pero repitiéndolo varias veces pudo lograrlo.

A pesar de su aparente sencillez no se trata de un experimento fácil. En primer lugar, la determinación de la simultaneidad entre los ruidos producidos por la bola colocada en A y la péndola estrellándose sobre la bola fija requiere una percepción auditiva bastante sensible y muy bien educada. En segundo lugar, es muy probable que Mersenne haya tenido que probar con distintos materiales antes de llevar a cabo el experimento. Esto seguramente con el fin de evitar, por ejemplo, que el impacto generado por la bola que cae al suelo opacase el ruido resultante del choque entre la bola fija y la péndola.

Tampoco es un experimento que necesite una actitud de concentración y precisión mecánica por parte del experimentador; más bien éste requiere integrar sus sen-

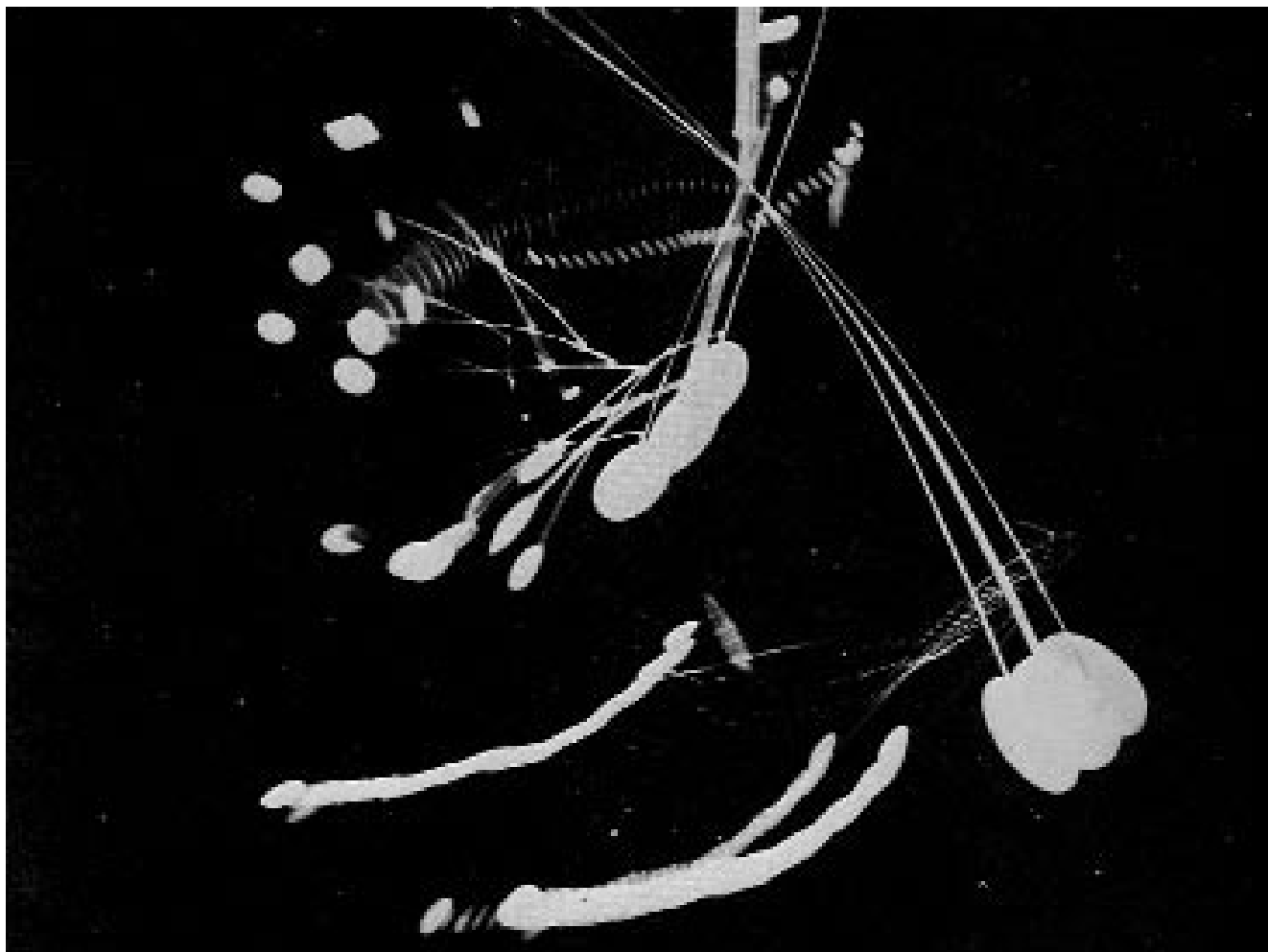


tidos, vista y oído, para tener una apreciación integral y detallada del conjunto.

La forma de lograr lo anterior era tratando de que el ruido producido por la bola abandonada desde el punto A coincidiera con el generado por el choque entre la péndola b y la bola inmóvil b'. Si después de numerosos ensayos los sonidos se escuchaban simultáneamente, entonces Mersenne podía afirmar que la bola soltada desde A completaba la distancia AB en un semiperiodo t_{AB} de su péndulo.

Antes de continuar conviene aclarar que el oído de una persona normal puede apreciar diferencias en tiem-

po de un dieciseisavo de segundo. Galileo estaba familiarizado con el conocimiento musical por herencia paterna, y Mersenne demuestra su conocimiento musical en su *Harmonie universelle*, en donde trata sobre todo tipo de instrumentos musicales y de su estructura. Ahora bien, volviendo con el dispositivo de Mersenne, si observamos detenidamente, la parte más difícil de este experimento no consiste en la detección de la simultaneidad mediante la forma indicada, sino en buscar la altura adecuada que la produzca. Son tan numerosos sus ensayos que incluso se siente obligado a refutar el valor supuestamente manejado por Galileo: “[Si suponemos] que las cien brazas



de Galileo son $166 \frac{2}{3}$ de nuestros pies, [aun así] nuestras experiencias *repetidas más de 50 veces* [...] nos apremian a decir que la bola cae 300 pies en cinco segundos, es decir 180 brazas, o casi dos veces más que lo propuesto [Y las cien brazas de Galileo son recorridas] en tres segundos con $\frac{18}{25}$ [...] y no en 5. Porque hemos probado muy exactamente que un globo de plomo cuyo peso es cerca de una libra [...] cae de 48 pies en 2 [segundos], de 108 pies en 3 y de 147 pies en $3 \frac{1}{2}$ ".

Al atribuir Mersenne a Galileo la "caída de un grave desde una altura de $166 \frac{2}{3}$ pies en 5 segundos", podemos obtener un valor para la gravedad (g) de 438.3 cm/s^2 . Por el contrario, el valor reportado por el clérigo (48 pies en 2 segundos) es superior al de aquél: 788.8 cm/s^2 ; lo cual además supera el valor inferido del folio galileano 107v, que es de 696.3 cm/s^2 .

En este folio Galileo demuestra que, en un plano inclinado, los espacios recorridos por el móvil son proporci-

nales al cuadrado de los tiempos empleados en recorrerlos. En otro de sus folios (en el 152r) extiende esta relación al movimiento de caída libre.

Mersenne presenta una tabla —que aquí se muestra abreviada— donde ordena sus resultados para compararlos con los de Galileo (cuadro 1).

La columna A representa el tiempo en unidades de medio segundo. La columna B, las distancias en pies reales recorridas por el grave en un tiempo determinado, las cuales son denominadas por Mersenne como los "espacios atravesados" por el móvil. Las columnas C y D representan las distancias derivadas de la suposición galileana en pies reales y brazas florentinas, respectivamente.

En realidad, el pie utilizado por Galileo es más corto (29.57 cm) que el pie real utilizado por Mersenne (32.87 cm). La diferencia entre sus respectivos datos es, por lo tanto, mucho mayor aún de lo que este último supone. Además, Mersenne obtuvo 110 y no 108, y $146 \frac{1}{2}$ y no

147- $\frac{1}{2}$. Aquí Mersenne especula a la manera galileana y corrige los datos de la experiencia para ajustarlos a la teoría. Sabe que no es posible alcanzar la exactitud que esta última exige por medio de la experiencia, sobre todo con los medios que tiene a su disposición.

Si aplicamos a los datos anteriores la llamada regla de la proporción doble (*i.e.*, suponer que los espacios recorridos son proporcionales al cuadrado de los tiempos) notaremos una correspondencia exacta, tanto en los resultados de Galileo como en los de Mersenne. De la misma forma que Galileo, este autor supone que la proporción que ha encontrado entre los tiempos y los espacios es invariante con respecto a la distancia sobre la superficie terrestre; y extrapolando termina incluso por calcular el tiempo que tardaría en caer hasta la Tierra un cuerpo situado cerca de la Luna.

En su libro *Harmonie universelle* señala: “Ahora bien, nuestra experiencia muestra que la bola debe caer desde la Luna, a saber 588-000-000 brazas [322-106-000 m], o 980-000-000 pies en dos horas, 30 [minutos], 36 [segundos], 57 [décimas], 36 [centésimas], es decir, menos de una hora de lo dicho por Galileo”.

Nótese que el fraile parisino pudo calcular el tiempo que tarda la “bola en caer desde la Luna” porque conocía no sólo la distancia de ésta a la Tierra, sino también el valor numérico de la constante *g*. Esto significa que, aunque normalmente reportaba dicho valor en términos de distancia y de tiempo, estuvo en posibilidades de obtener una magnitud que sintetizara matemáticamente el “grado de aumento en la velocidad”. A pesar de la importancia que tenía dentro de la física galileana la constante de la aceleración gravitacional, Mersenne no reportó su valor de manera expresa.

No es difícil descubrir la consecuencia inmediata del razonamiento de que la aceleración no variaba con la distancia al centro de la Tierra: ésta afectaría con la misma fuerza un cuerpo colocado a escasos metros de su superficie y otro colocado en las inmediaciones de la Luna. Tendrían que transcurrir varios años antes de que la invariabilidad de la constante *g* fuera refutada. A raíz de la publicación de la obra cumbre del pensamiento newtoniano (los *Principia*) en el verano de 1687, otros científicos continuaron estudiando la influencia de factores como la distancia, la latitud, etcétera, en la constante de la aceleración gravitacional. Uno de ellos fue el matemático y físico holandés Christian Huyghens, quien a finales del siglo XVII demostró que el valor de *g* varía con la latitud.

La anisocronía del péndulo

Mersenne estudió en forma detallada el movimiento pendular sirviéndose de sus oscilaciones como si se tratara de un reloj y fue consciente de la utilidad que un reloj podía reportar en distintas facetas de la actividad humana (no sólo la científica). Dice en su libro *Harmonie*: “el [horologium] puede servir en las observaciones de los eclipses de Sol y de Luna, porque se pueden contar los [segundos] por las vueltas [del péndulo], mientras [...] otro hace las observaciones y marca cuántos segundos hay de la primera a la segunda y la tercera observación [...] los médicos pueden usar igualmente este método para reconocer cuántos pulsos [presentan sus] enfermos [...] y también las pulsaciones del corazón, y otras [pulsaciones que manifiesten] adelantamiento o retardo”.

Su objetivo principal era la estimación del tiempo empleado por un grave cayendo en forma libre o “bajo la perpendicular”. Mas, ¿pueden considerarse precisas sus mediciones? Sí, dentro del propio error experimental, por supuesto.

En el Libro Tercero (“Des mouvemens & du fondes chordes”) de su *Harmonie universelle*, Mersenne aclara la forma en la cual realizó sus experimentos. El objetivo de éstos era encontrar una longitud para su péndulo tal que sus “vueltas” equivalentes a un semiperiodo de oscilación las completara en un segundo. Siendo necesario para ello: “[una] cuerda de 3 pies y medio [porque ella] marca los segundos en sus vueltas y revueltas, [y no hay] ningún

Mersenne		Galileo	
A	B	C	D
1	3	1	1
2	12	6 $\frac{2}{3}$	4
3	27	15	9
4	48	26 $\frac{2}{3}$	16
5	75	41 $\frac{2}{3}$	25
6	108	60	36
7	147 $\frac{1}{2}$	81 $\frac{2}{3}$	49
10	300	166 $\frac{2}{3}$	100

Cuadro 1 Cálculos elaborados para la caída de los graves.

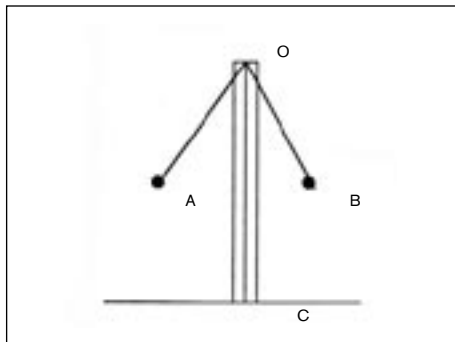


Figura 3 Una nota cantada corresponde a la oscilación de A a B.

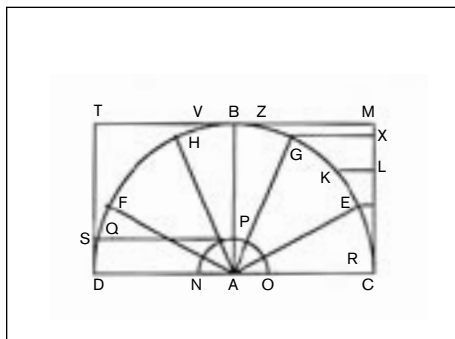


Figura 4 Construcción de Mersenne.

impedimento [en] acudir a una cuerda [...] demasiado larga, [de modo que] cada una de sus vueltas dure poco más de un segundo, como [algunas veces obtuve]. Fijando un mismo *horologium* común [...] medí por completo [...] 3-600 vueltas [en una hora] para [dicha cuerda]. Pero habiendo hecho la cuerda de solamente 3 pies, para 900 vueltas [solamente emplea] un cuarto de hora”.

Mersenne nos habla de un reloj (*horologium*) empleado para contar “las vueltas y revueltas del reloj”, que funcionaba de la siguiente manera. Al momento en que él (o uno de sus asistentes) soltaba la péndola desde el punto A (figura 3), el fraile cantaba una nota de aproximadamente un segundo de duración, verificando que a su término la péndola hubiese llegado al punto B; de suceder esto tendría la seguridad de que el péndulo había completado una “vuelta” en cerca de un segundo. Si no ocurría lo anterior, Mersenne veíase obligado a iniciar nuevamente con un péndulo cuyo brazo fuese más largo o más corto hasta lograr que la duración de su nota fuera igual al tiempo

de oscilación de A a B. Una vez logrado esto, repetía toda la operación anterior llevando el registro del número de “vueltas” efectuadas por el péndulo.

Como Mersenne seguramente requería mucha concentración para cantar las notas, debió pedir a un ayudante que contara las “vueltas” al término de aquellas; así, al final de un cierto número de notas cantadas, tendrían también otro tanto de “vueltas” registradas. De la precisión puesta al reproducir las notas dependería la precisión en el intervalo de tiempo registrado, que a su vez podía ser confrontado con el obtenido gracias a un dispositivo externo como el reloj de arena, la clépsidra, etcétera.

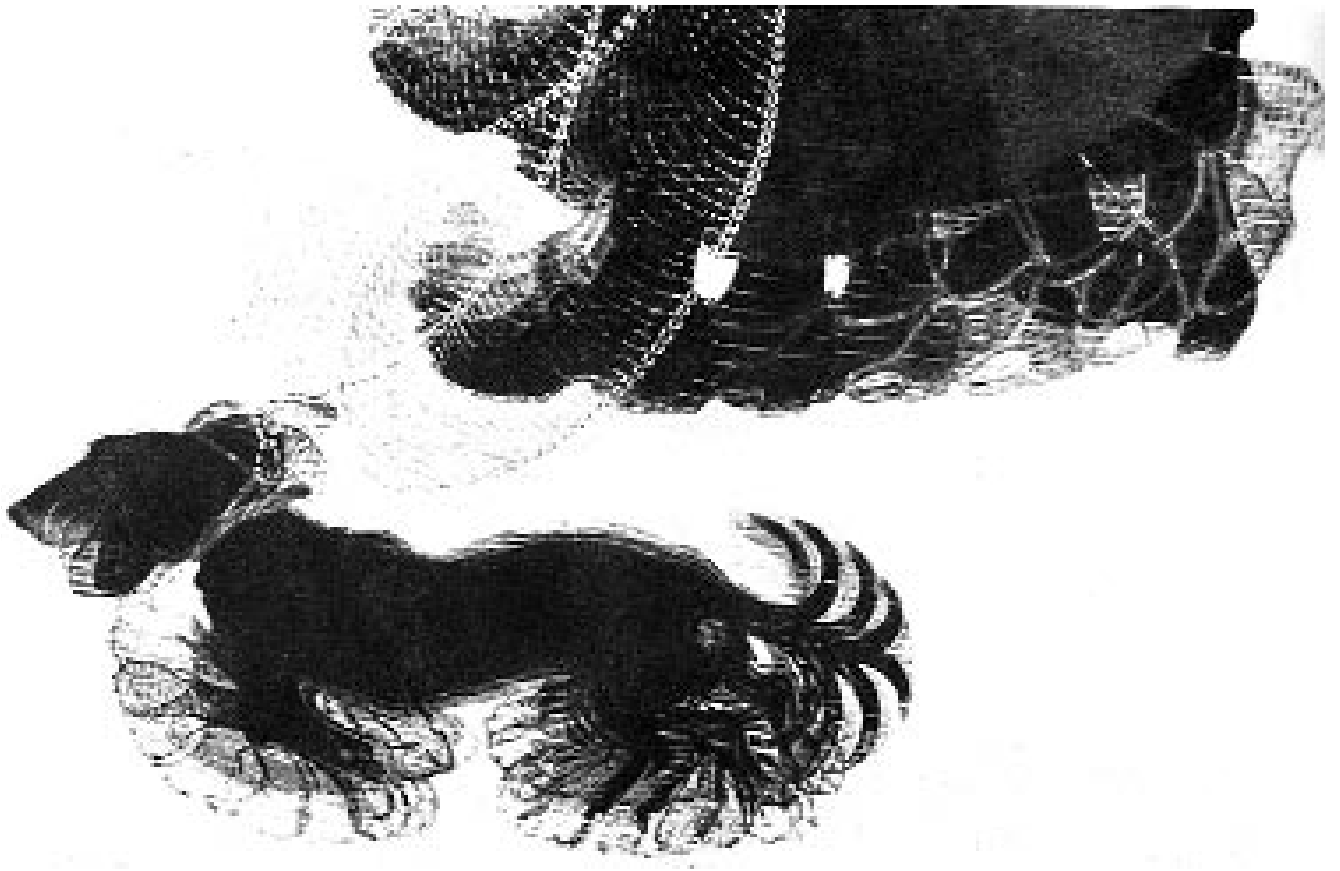
Aparentemente Mersenne se complicaba el problema: bastaría contar el número de “vueltas” en un periodo determinado de tiempo, sin tener que preocuparse por registrar éste de manera simultánea con aquél. Sin embargo no debemos olvidar que en el siglo XVII no existían buenos relojes de precisión. Así, Mersenne tuvo que contar el número de oscilaciones de su péndulo en el mismo instante en el cual generaba su propia unidad de tiempo.

Existe otro hecho interesante en lo que dice Mersenne: dos péndulos de diferente longitud (3 y 3.5 pies) completan una “vuelta” en el mismo periodo de tiempo, esto es, en un segundo. La pregunta que surge es: ¿medio pie en la longitud de la cuerda no reporta mucha incertidumbre? Veamos.

Supondremos por simplicidad, pues Mersenne no nos informa sobre cómo estaba realmente construido su péndulo, que éste puede simularse como un péndulo matemático cuyo periodo viene dado por la siguiente expresión:

$$T = 2\pi(L/g)^{1/2} \{1 + 0.25 \text{sen}^2(u/2) + (9/64) \text{sen}^4(u/4) + \dots\}$$

donde L es la longitud del péndulo, g la constante de la aceleración gravitacional y u es el ángulo inicial respecto a la vertical (BOC en la figura 3) con el cual el péndulo empieza a oscilar. Suponiendo que la amplitud desde la cual Mersenne dejaba oscilar la péndola haya sido pequeña, podremos emplear solamente el primer término de la ecuación al evaluar el periodo de oscilación de cada uno de los péndulos. Así, los semiperiodos para los péndulos de 3 y 3.5 pies son 1.00 y 1.04 segundos, respectivamente. Siendo la diferencia porcentual (máxima) entre ellas de 4%, lo cual nos da un primer indicio del error cometido por Mersenne al determinar el periodo de oscilación del péndulo correspondiente a dos “vueltas”.



Ocho años después, en 1644, reelabora sus investigaciones sobre el péndulo, vertiendo las mejores en una obra de muy largo título conocida como *Cogitata physico-mathematica*. Los resultados de mayor interés, en el tópico que nos ocupa, son fundamentalmente tres (figura 4): 1) la péndola gasta el mismo tiempo en ir de C a D que de D a C (el movimiento es simétrico); 2) después de “muchas vueltas” —Mersenne no especifica cuántas—, el péndulo ya no barre el arco CBD sino el GBH (o sea, después de un gran número de vueltas existe una especie de amortiguamiento); 3) las últimas vibraciones del péndulo —de Z a V— son prácticamente indetectables (existe dificultad para decidir el momento en el cual el péndulo deja de oscilar).

Resumiendo los dos últimos puntos: sea por la resistencia del aire, sea por agotamiento del “impulso natural”, la péndola termina recorriendo un arco mucho menor que al comienzo. Por supuesto, al mínimo parisino le faltó añadir la causa de mayor importancia en lo que atañe al amortiguamiento de las oscilaciones de su péndulo: la fricción existente en el soporte (punto A, figura 4).

Sin embargo, y a diferencia de Galileo, Mersenne no ofrece ninguna explicación concreta del fenómeno. Pues según el fraile no existe dificultad alguna: mientras las oscilaciones se efectúen en prácticamente el mismo tiempo, el péndulo sirve como un reloj (limitado, no obstante, a unos cuantos segundos). Pero eso no es todo. En la obra referida, el mínimo francés realiza un descubrimiento que asesta un golpe mortal a la propiedad de isocronía del péndulo galileano. Al contar el número de vibraciones para dos amplitudes iniciales distintas (figura 4), “[nos dimos cuenta de que] la esfera de C a B [emplea] algo más de tiempo que [cayendo] de E. [Si colocamos dos péndolas] la una desde C, la otra desde G, para que comiencen sus vibraciones [...] iniciadas desde G, hay casi 36 vibraciones, mientras que iniciando de C [hay] exactamente 35 vibraciones [...] una vibración ganada cayendo desde G, y las vibraciones desde G y desde C empezaron al mismo tiempo”.

Como a partir de G existen cerca de 22.5° , y desde C hay 90° , usando la ecuación anterior hasta el segundo orden y para $L = 3.5$ pies, resultan:

$$T_1(u = 22.5^\circ) = 2.10 \text{ segundos,}$$

$$T_2(u = 90^\circ) = 2.34 \text{ segundos.}$$

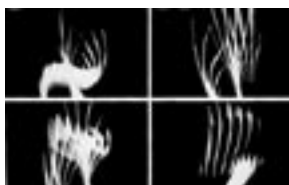
Existe —nos dice— casi una “vibración” de diferencia; es decir, aproximadamente la cuarta parte del tiempo correspondiente a una oscilación completa de su péndulo (“vibración” es un término con el cual Mersenne designa al tiempo empleado por la péndola en ir desde el punto donde se le abandona hasta la perpendicular AB. Esto significa que Mersenne cuenta en realidad cuatro “vibraciones” en lo que nosotros entendemos como un “periodo de oscilación”. Recuérdese también que hace sus mediciones con péndulos de 3 y 3.5 pies, cuyo semiperiodo es de un segundo, medido con el procedimiento señalado líneas arriba. También conviene aclarar que analizando su *Harmonie universelle* no queda duda acerca de que los segundos utilizados por él son equivalentes a nuestros segundos actuales).

La diferencia entre los periodos de los dos péndulos con distintas amplitudes iniciales (22.5° y 90°) utilizando la primera ecuación hasta el término de segundo orden es $T_2 - T_1 = 0.24$ segundos. De esta manera, resulta que la estimación de Mersenne relativa a la anisocronía del péndulo posee un buen margen de aproximación si consideramos que es probablemente la primera medición de este tipo en la historia del péndulo. Así, la observación del religioso es la primera evidencia de la dependencia entre el número de oscilaciones efectuadas por la péndola y la amplitud desde la cual se suelta ésta. No obstante, Mersenne jamás se percató de las implicaciones que su

descubrimiento tenía para la nueva física y sólo se circunscribió a reportar sus investigaciones.

Viendo el asunto en forma retrospectiva, Mersenne tuvo entre sus manos un resultado que modificó el rumbo de la teoría y de la experimentación física. Algunos años más tarde, nuevamente el holandés Christian Huyghens, gran conocedor de las obras de Galileo y Mersenne, reconsidera el problema del péndulo y, tomando como punto de partida las investigaciones del último autor, comienza una serie de investigaciones teóricas y experimentales que culminan con la construcción de un reloj de péndulo isócrona, dando a conocer los pormenores de su construcción en una obra, escrita en latín y publicada en el año de 1673, titulada *Horologium oscillatorium*. En ésta comunica haber descubierto, de manera teórica inicialmente, una curva en la cual las oscilaciones se realizan en forma independiente de la amplitud inicial; curva que no es, como suponía Galileo, el círculo sino la cicloide. Lo anterior es muy curioso porque la palabra “cicloide” fue acuñada por el mismo Galileo. Una vez que Huyghens encuentra la curva isócrona procede a fabricar un reloj con tales características.

Lo abordado anteriormente muestra cómo las investigaciones que empezaron por tratar de medir una constante de proporcionalidad entre los tiempos y los espacios solamente alcanzaron la cúspide cuando el dispositivo de medición fue reelaborado. Es decir, esta búsqueda experimental contenía, en sus formas de medición, el germen cuyo desarrollo permitiría conocer con precisión la constante referida, esto es, la aceleración gravitacional. \blacksquare



José Luis Álvarez García
Yolanda Posadas Velázquez
Facultad de Ciencias,
Universidad Nacional Autónoma de México

AGRADECIMIENTOS

Al maestro Miguel Núñez Cabrera por la revisión del manuscrito y sus valiosas observaciones.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Álvarez G., J. L. y Y. Posadas V. 2002. “La obra de Galileo y la conformación del experimento en la física”, en *Revista Mexicana de Física*, vol. 49, núm. 62.

Courant, R. y F. John. 1971. *Introducción al cálculo y al análisis matemático*, vol. I, Edit. Limusa, México.

Huyghens, C. 1673. *Horologium Oscillatorium*.

_____. 1690. *Discours de la cause de la pesanteur*, Pierre van der Aa Leide.

Mersenne, M. 1644. *Cogitata physico-mathematica* (Phenomena ballistica), Parisii, Propositio xv, p.-38.

Mersenne, M. *Harmonie universelle*. 3 vols. CNRS, Paris, 1975.

IMÁGENES

P. 51: Péndulo en movimiento. P. 53: *Caravelle*. P. 54: Fotografía de un móvil de Alexander Calder. P. 57: Giacomo Balla, *La dama y el perrito*. P. 58: Thomas Wilfred, *Escultura luminosa*.