

Costas de la isla griega de Citera, frente a la boca del golfo de Laconia, en el extremo sur del Peloponeso



# El mecanismo de Anticitera

## Una computadora astronómica de la antigüedad

### El descubrimiento de un naufragio

En junio de 1980, Richard Feynman (1918-1988) –premio Nobel de física de 1965– visitó el Museo Arqueológico Nacional de Atenas. En una carta a su familia explicó que todo lo visto allí le había resultado aburrido, excepto un objeto recuperado del fondo del mar en 1900, que describió como una especie de máquina con cadenas de engranajes, muy parecida al interior de un reloj de pie moderno. Acotó que tenía círculos graduados e inscripciones griegas, y se preguntó si, más que una pieza antigua, no sería una falsificación (figura 1).

Ochenta años antes, cerca de la Pascua de 1900, unos buzos griegos pescadores de esponjas emprendieron el regreso a sus hogares desde su lugar habitual de pesca en el norte de África. Cuando atravesaban el brazo marino entre Creta y el extremo sur del Peloponeso, frente a la isla de Citera, los sorprendió una tormenta que los llevó a refugiarse en un islote más pequeño a unos 30km al sudeste de dicha isla, llamado Anticitera por su ubicación.



**Figura 1.** Fragmento principal del mecanismo de Anticitera encontrado en un naufragio en 1900 y conservado en el Museo Arqueológico de Atenas. Foto Marsyas, Wikimedia Commons.

### ¿DE QUÉ SE TRATA?

Un aparato mecánico, accionado por una manivela, fabricado en la Grecia helenística hace más de dos milenios, se reveló como una computadora de efemérides astronómicas construida sobre la base de los calendarios y de la cosmografía de griegos y babilonios.

Pasada la tormenta y puestos a ejercer su oficio en el lugar en que se encontraban, encontraron a 42 metros de profundidad restos de un navío hundido. Resultó el primer naufragio al que se le reconoció valor arqueológico. Entre los objetos recuperados había estatuas de bronce, joyas, armas y muebles, y fragmentos de bronce de lo que parecía ser un aparato de navegación o astrolabio, que terminó siendo conocido como el mecanismo de Anticitera. Estimaciones basadas en cerámicas, ánforas y otros utensilios de uso cotidiano llevaron a datar el hallazgo en torno al año 70 anterior a nuestra era, es decir en el período helenístico. Un análisis del carbono radiactivo ( $C_{14}$ ) de los restos de madera del barco arrojó una fecha alrededor de un siglo más antigua, lo que no parece contradecir la primera estimación, ya que la embarcación podía perfectamente haber sobrevivido cien años o, incluso, haber sido hecha con madera cortada mucho antes de su construcción.

A esos fragmentos de bronce, expuestos en el museo de Atenas, hacía referencia Feynman en su carta. Si bien tienen claros signos de haber sufrido las inclemencias del

fondo del mar durante dos milenios, permiten distinguir muchos engranajes, algunas escalas fragmentadas, cuadrantes, alguna aguja o puntero y varias palabras en griego. El estilo de las inscripciones reforzó la datación mencionada y llevó a ubicar al mecanismo entre aproximadamente los años 150 y 100 antes de nuestra era.

## Cómo se dedujo qué era el aparato

Unos pocos años después del rescate, en 1905, el filólogo alemán Albert Rehm (1871-1949), dos veces rector de la Universidad de Munich, sostuvo que se trataba de una calculadora astronómica y no de un instrumento de navegación. Durante algunas décadas la naturaleza del mecanismo fue objeto de controversia, hasta que en la década de 1950 se comenzó a vislumbrar con mayor claridad su estructura y su función, y se impuso la hipótesis de Rehm.

Quien por esos años dio la primera solución fundamentada al enigma fue el físico e historiador de la ciencia británico Derek de Solla Price (1922-1983), profesor de la Universidad de Yale. Junto con el físico griego Charalambos Karakalos, del Centro Nacional de Investigación Científica Demokritos de Atenas, tomó radiografías de rayos X y rayos gama de los fragmentos, para averiguar cuántos engranajes había, cuántos dientes tenía cada uno y cómo estaban conectados. Hacia fines de dicha década, Price dedujo con esos datos que se trataba, en efecto, de una calculadora astronómica analógica, y aclaró hasta cierto punto cómo operaba el mecanismo. A pesar de algunas imprecisiones, que dejaron cuestiones sin resolver, sus conclusiones fueron en lo esencial acertadas.

A partir de década de 1990, el curador de ingeniería mecánica del Museo de Ciencia de Londres, Michael Wright, hoy profesor del Imperial College, corrigió errores de la interpretación de Price mediante el uso de tomografía de rayos X, y descubrió nuevas características del aparato. Había construido él mismo un tomógrafo para su investigación, y durante varios veranos estudió los fragmentos con el historiador australiano de la computación Alan Bromley (1947-2002), de la Universidad de Sidney. Hacia 2006 terminó lo que consideraba una posible réplica del instrumento.

Por su lado, poco después de 2000, el productor británico de documentales Tony Freeth y el astrónomo Mike Edmunds, de la Universidad de Cardiff, formaron el Antikythera Mechanism Research Group, un equipo internacional multidisciplinario que estudió nuevamente las piezas. Lo hizo tomando nuevas tomografías, de mayor resolución, que procesadas por computadora arrojaron imágenes tridimensionales.

También recurrió a la técnica PTM (*Polynomial Texture Mapping*), desarrollada por Tom Malzbender, un investigador de los laboratorios de la empresa Hewlett Packard, que consiste en tomar fotografías de una superficie con una cámara fija e iluminación de distintos ángulos, para



**Figura 2.** Una interpretación de cómo era el aparato, realizada por investigadores de la Universidad de Puget Sound en Tacoma y de la Universidad Nacional de Quilmes.



que sus lecturas se desfasaban con respecto a la realidad. Ello se solucionaba porque la escala era móvil y, cada cuatro años, se la podía desplazar un día.

El puntero de la Luna, que solo alcanzaba la escala interior, daba una vuelta por mes y mostraba la posición de aquella en el Zodíaco. Ese puntero tenía dos mecanismos notables. El primero fue descubierto por Wright: para señalar las fases de la Luna, había una pequeña esfera pintada –la mitad de negro y la mitad de blanco– que giraba sobre su eje al ritmo de su diferencia con la posición del Sol (figura 4). Cuando la Luna estaba en oposición al Sol, mostraba la cara blanca e indicaba Luna llena, y cuando estaba en conjunción mostraba la cara negra indicativa de Luna nueva. Entre ambas posiciones, mostraba los cuartos como esferas mitad blancas y mitad negras.

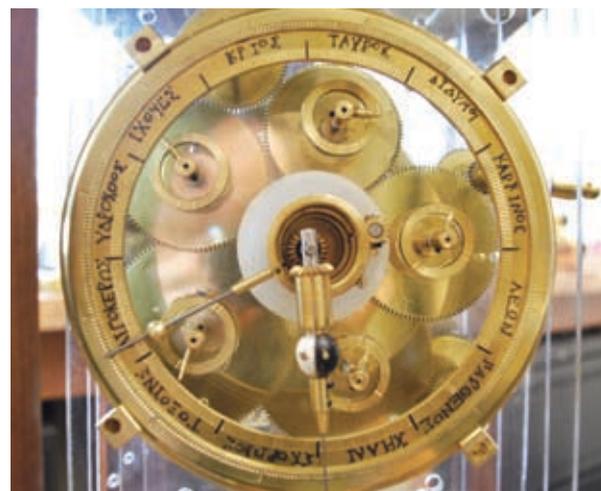
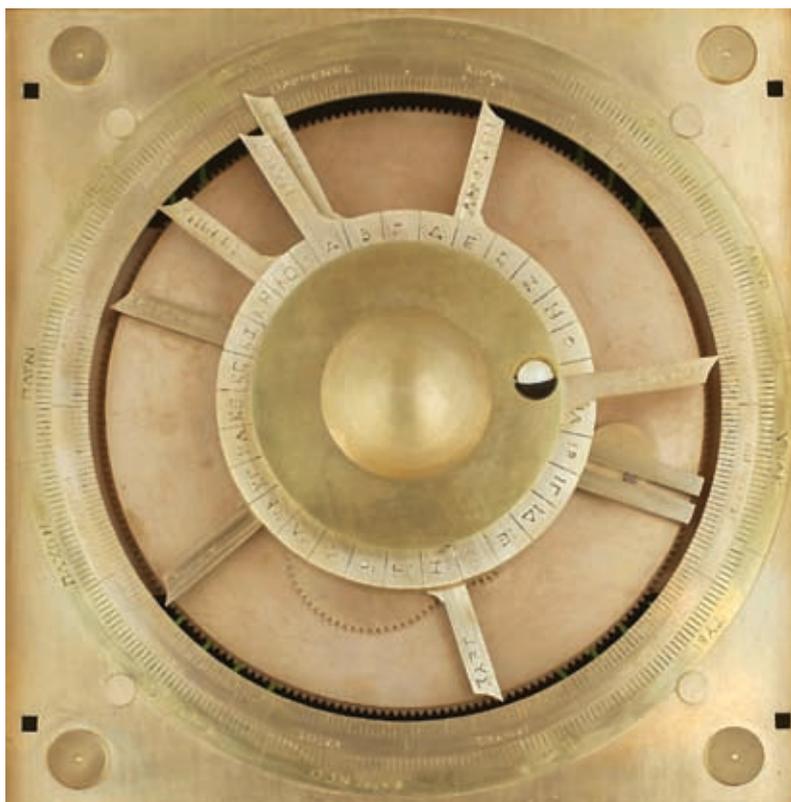
El segundo mecanismo destacado fue descubierto por el equipo de Freeth y Edmunds. Es conocido que, por tener una órbita elíptica, la Luna no se traslada a velocidad uniforme a lo largo de ella sino que sufre ciertas aceleraciones y desaceleraciones, según lo establecen las leyes de Kepler. Los antiguos griegos no pensaban que las órbitas fueran elípticas, pero eran conscientes de esos cambios de velocidad. En consecuencia, habían logrado que el puntero de la Luna no se desplazara a velocidad constante, sino que acelerara en los momentos que esta lo hacía (y viceversa). Obtuvieron esos cambios de velocidad mediante un ingenioso dispositivo que consistía en un engranaje excéntrico, dotado de un movimiento sinusoidal.

Por ciertas inscripciones en los fragmentos se sospecha que el mecanismo mostraba también la posición de los cin-

co planetas entonces conocidos. Hay varias hipótesis sobre cómo lo habría hecho. Una es la de Wright, para quien habrían existido otros cinco punteros girando en el cuadrante grande, cada uno a su ritmo, para mostrar la posición de cada planeta en el Zodíaco (figura 5). El equipo de Tacoma-Quilmes se inclina por suponer la existencia de cinco pequeños cuadrantes subsidiarios, también en el frente del mecanismo, y que cada uno señalaba, no la posición, sino ciertos fenómenos entonces conocidos, característicos de esos planetas, como su primera aparición, su ocultamiento o el comienzo y el final de su retrogradación (figura 6). Pero dado que no se han conservado los engranajes supuestos por estas hipótesis, ellas solo son conjeturas.

En la parte trasera del mecanismo, es decir en la cara del ortoedro opuesta a la anterior, había dos grandes cuadrantes, uno arriba y otro abajo, y algunos menores en el interior de ellos. El inferior (figura 7) estaba dividido en 223 celdas distribuidas en cuatro vueltas de una espiral. La mayoría de esas celdas estaban vacías, pero en algunas había inscripciones relacionadas con eclipses. Cada celda correspondía a un mes sinódico o lunar (el tiempo entre dos lunas llenas) y aquellas que indicaban un eclipse detallaban si era solar o lunar, a qué hora sucedería y si podría o no verse. Como los eclipses se repiten cada 223 meses, ese cuadrante permitía predecirlos indefinidamente.

Pero cada 223 meses los eclipses resultan desplazados ocho horas, lo cual significa que en el segundo ciclo después de uno cualquiera, los eclipses suceden con esa diferencia de tiempo, que se incrementa a dieciséis horas en el



**Figura 5.** Modelo interpretativo que explica una de las hipótesis alternativas sobre cómo el mecanismo establecía la posición de los planetas, postulada por Michael Wright: todos los punteros de los planetas son concéntricos con los del Sol y la Luna, e indican las respectivas posiciones en el Zodíaco sobre el mismo cuadrante.

**Figura 6.** Modelo interpretativo que explica la hipótesis de Evans, Carman y Thorndike (grupo Tacoma-Quilmes), construido por el último integrante, sobre cómo el mecanismo establecía la posición de los planetas: cada uno de los cinco entonces conocidos tenía su propio cuadrante subsidiario del mayor.

tercero, pero coincide con el primero en el cuarto, porque la diferencia acumulada alcanza las veinticuatro horas. Por esa razón, el mecanismo poseía un indicador subsidiario, con un puntero que daba una vuelta cada cincuenta y cuatro años e indicaba si había que sumar ocho, dieciséis o nada a los valores de las celdas.

El cuadrante superior (figura 8) respondía al complicado calendario lunisolar, basado en el llamado ciclo metónico, por el que diecinueve años solares corresponden a exactamente 235 meses lunares. Así, el calendario se repite cada diecinueve años. De estos diecinueve años, algunos tenían doce meses y algunos trece, además, los meses tenían treinta días, pero en algunos había solo veintinueve. Para representar un mes de veintinueve días, había que omitir uno de los treinta, lo que podía caer en cualquier lugar del mes (pasar, por ejemplo, del 19 al 21 del mes).

Los historiadores sabían de la existencia de ese calendario, pero siempre pensaron que era un artificio empleado por los astrónomos, sin aplicación civil, pues su complicación los llevaba a considerar improbable que una ciudad se rigiera por él. Sin embargo, su presencia en el mecanismo de Anticitera sugiere que eso probablemente no fue así.

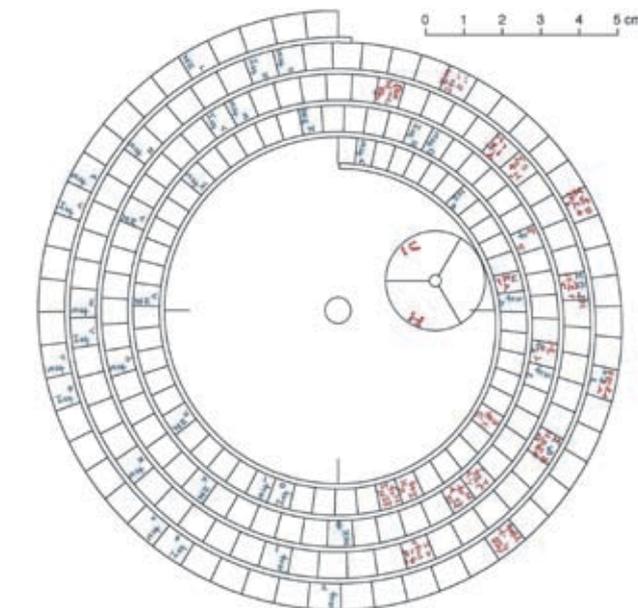
Los 235 meses de la escala estaban ubicados en cinco vueltas en forma de espiral. Nuevamente, cada celda representaba un mes e indicaba toda la información relevante: el nombre del mes, qué día debía omitirse (si alguno), etcétera. Como cada ciudad griega poseía su propio calendario, el nombre de los meses permite concluir que el mecanismo fue hecho para Corinto o alguna de sus colonias.

El calendario lunisolar incluía dos pequeños cuadrantes subsidiarios: en uno el puntero daba una vuelta cada 76 años e indicaba cuándo omitir un día extra al calendario metónico (una vez cada cuatro ciclos) para corregirlo. En el segundo, uno de los más asombrosos, el puntero daba una vuelta cada cuatro años y estaba dividido en cuatro celdas que indicaban los juegos panhelénicos de ese año (Olimpiadas, juegos de Nemea, etcétera).

A pesar de todo lo avanzado, todavía quedan muchas cuestiones por resolver acerca del funcionamiento, el origen y los propósitos del mecanismo; por ejemplo, hay dudas sobre las horas de los eclipses que aparecen en el aparato, existe un engranaje de 63 dientes al que la reconstrucción de Freeth no le encontró función, y está el mencionado interrogante sobre cómo aparecía información acerca de los planetas (si es que aparecía).

## Recientes contribuciones

El equipo Tacoma-Quilmes cree haber resuelto un intrigante problema, cuya solución trajo consecuencias inesperadas. De la misma manera como el movimiento aparente de la Luna sobre el fondo de estrellas no tiene velocidad uniforme, tampoco la tiene el del Sol. Las ace-

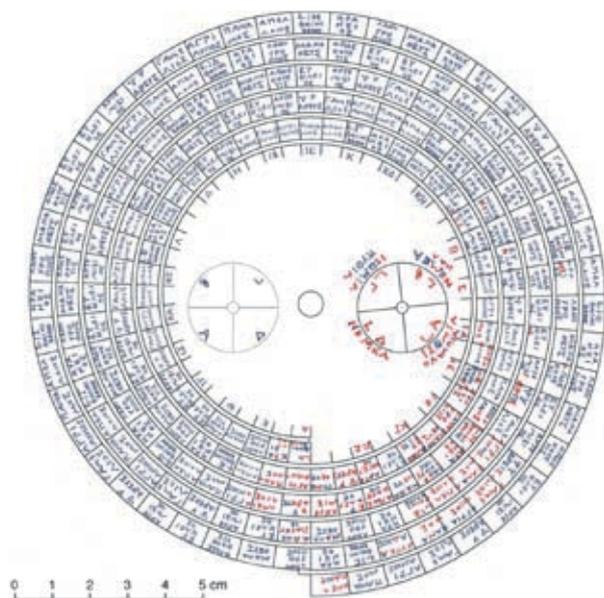


**Figura 7.** Esquema del cuadrante indicador de eclipses, preparado siguiendo lo publicado en 2008 en *Nature* por Tony Freeth *et al.* (ver lecturas sugeridas).

leraciones y desaceleraciones de este son mucho menores y más sencillas de comprender que las de aquella: apartan al Sol no más de dos grados y medio de la posición media (la que tendría si se desplazara a velocidad uniforme) y siempre tienen igual efecto en la misma parte del Zodíaco y época del año.

Si bien dos grados y medio no constituyen un desvío demasiado significativo, hay dos razones para suponer que el mecanismo debía reflejar el movimiento real y no el medio del Sol. La primera es que en su construcción se invirtió un gran esfuerzo para dar cuenta de las irregularidades de la Luna, que son mucho más complicadas, mientras las del Sol podían reflejarse de modo más sencillo. La segunda es que si un único puntero mostraba tanto la posición del Sol como el día del año, el que no considerara esas irregularidades del movimiento solar implicaba que en algunas partes del año esa posición estaría equivocada por dos grados, o bien la fecha lo estaría por dos días. Ello llevó a Wright a conjeturar que había dos punteros: uno que se movía a velocidad constante y señalaba con precisión el día, y otro que se movía con velocidad variable y señalaba con precisión la posición del Sol. Pero esos dos indicadores estarían prácticamente superpuestos la mayor parte del tiempo, y resultaría un efecto no muy estético.

El equipo de Tacoma-Quilmes pensó en otra solución: introducir irregularidades en las divisiones de la escala del Zodíaco, por las que en los días en que el Sol se desplaza más rápido las marcas estén más juntas, y lo contrario en los días en los que se desplaza más despacio. Con ese recurso se lograría el mismo resultado —señalar con exactitud la posición del Sol y el día del año— y habría un único puntero desplazándose a velocidad constante. Es una solución demasiado sencilla y bella para no haber



**Figura 8.** Esquema del cuadrante con el calendario metónico lunisolar, preparado siguiendo lo publicado en 2008 en *Nature* por Tony Freeth

sido adoptada por los diseñadores del instrumento, y parece corroborarla el hecho de que en la parte de la escala del Zodíaco que se ha conservado, coincidente con la zona en que el Sol se desplaza más rápido, las marcas están más pegadas de lo que estarían si se hubiera ajustado la gradación a la velocidad uniforme, y las distancias entre ellas es exactamente igual a la esperada si el diseñador del aparato hubiese adoptado dicha solución.

Existían en la época dos modelos conceptuales para explicar la variación de la velocidad del Sol en su marcha aparente por el cielo, uno griego y otro babilónico. El griego era de índole geométrica; el babilónico, aritmética. El primero, partiendo de una imagen geocéntrica del universo, suponía que la órbita solar en torno a la Tierra estaba descentrada y, así, aunque el movimiento solar real fuera uniforme, medido desde la Tierra sufriría las pequeñas aceleraciones y desaceleraciones observadas. Para este modelo, la velocidad de desplazamiento del Sol nunca se mantenía constante, sino que variaba cada día. Si el meca-

nismo de Anticitera se hubiera valido de esa concepción, las distancias entre las marcas de la escala variarían en todos los casos de una a otra.

El modelo babilónico, en cambio, era una concepción aritmética que postulaba una velocidad constante del Sol, un poco superior a la media para una parte del año (llamada *zona veloz*), y un poco menor a la media durante otra parte del año (llamada *zona lenta*). Este modelo implicaba un cambio abrupto de velocidad en el paso de una zona a la otra, lo cual no se consideraba problemático porque el modelo se utilizaba para calcular la posición del Sol en períodos medianamente largos (de meses o años). Si el mecanismo de Anticitera se hubiera valido de la concepción babilónica, las distancias entre las marcas de una misma zona habrían sido iguales.

Cuidadosos estudios de las marcas encontradas en la parte del cuadrante existente, pertenecientes a la zona veloz, parecen indicar, en efecto, que todas eran equidistantes, por lo que, en el estado actual de las investigaciones, nos inclinamos a pensar que el mecanismo de Anticitera se apoyó en la visión babilónica, que es la consecuencia inesperada que mencionamos más atrás. Todos los ciclos reflejados en los cuadrantes de la cara posterior eran conocidos por los babilonios. Algunos aspectos del mecanismo usado para expresar las aceleraciones y desaceleraciones de la Luna apuntan más al pensamiento babilónico que al griego. Esto repercute en nuestra comprensión del mecanismo y, tal vez, en la de la astronomía griega en general.

La historia de la astronomía tuvo hasta ahora la posición de que los griegos tomaron antiquísimas observaciones de los babilónicos para precisar numéricamente sus modelos geométricos, que hasta entonces solo les proporcionaban soluciones cualitativas. El mecanismo de Anticitera parece mostrar que hubo ensayos, no enteramente coherentes, de combinar la concepción aritmética y la geométrica. Parece reflejar un sincretismo típico de la cultura de su momento histórico. **CH**

Las figuras 2, 4 y 6 se publican por gentileza de James Evans y Alan Thorndike. La figura 5 se publica por cortesía de Michael Wright, quien se reserva todos los derechos.

## LECTURAS SUGERIDAS

- EVANS J, CARMAN CC & THORNDIKE AS, 2010, 'Solar Anomaly and Planetary Displays in the Antikythera Mechanism', *Journal for the History of Astronomy*, XLI: 1-39.
- FREETH *et al.*, 2006, 'Decoding the ancient Greek astronomical calculator known as the Antikythera Mechanism', *Nature*, 444: 587-591.
- , 2008, 'Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism', *Nature*, 454: 614-617.
- MARCHANT J, 2009, *Decoding the Heavens: A 2000-Year-Old Computer and the Century-Long Search to Discover Its Secrets*, Da Capo Press, Cambridge.
- WRIGHT MT, 2005, 'The Antikythera Mechanism and the early history of the Moon Phase Display', *Antiquarian Horology*, 29: 319-329.



### Christían Carlos Carman

Doctor en filosofía, Universidad Nacional de Quilmes.  
Investigador adjunto del Conicet.  
Profesor adjunto de la UNQ.  
ccarman@unq.edu.ar