

El mecanismo de *Antikythera*: un retazo del conocimiento antiguo

B. Pereira y J.M. García

Se tiende a creer que en la antigüedad los conocimientos científicos eran escasos y, a veces, surge algo en la historia que supera nuestras expectativas y lo desmiente. Este es el caso del protagonista del presente artículo, el mecanismo de *Antikythera*, un instrumento que nos ha permitido conocer mejor esas mentes prodigiosas de nuestros antepasados.

We tend to believe that in ancient times the scientific knowledge were scarce and sometimes arises something in history which exceeds our expectations and denies it. This is the case of the protagonist of this article, the Antikythera mechanism, an instrument that has allowed us to better understand those prodigious minds of our ancestors.

Creer que nuestros más remotos antepasados poseían escasos conocimientos científicos está ciertamente alejado de la realidad. Sabemos que muchos de ellos tenían una mente prodigiosa y que eran capaces de proezas tales como medir la distancia de la Tierra al Sol o de suponer que la materia estaba formada por elementos invisibles a los que llamaron átomos. Hoy nos vamos a ocupar de un curioso artefacto que virtualmente dejó atónitos a los científicos durante casi un siglo. Hablamos del mecanismo de *Antikythera*. Fue descubierto en la primavera de 1900, por unos pescadores griegos que volvían de buscar esponjas en la costa septentrional de África. Una tormenta les había obligado a refugiarse en una pequeña isla, llamada *Antikythera* (o *Anticitera*), situada a unos 30 km al noroeste de Creta. Pasado el temporal, el capitán Dimitrios Kondos aprovechó la coyuntura y ordenó la recogida de esponjas. Elías Stadiatis salió a bucear, bajando a más de 40 metros de profundidad. Al emerger, describiría haber visto multitud de cadáveres y caballos, pensando que un exceso de dióxido de carbono le había provocado alucinaciones. En realidad, se había topado con los restos del naufragio de un navío romano que transportaba una gran colección de piezas de arte de la Grecia Antigua [1]. Regresaron meses después, con apoyo del gobierno griego, aunque las fuertes corrientes complicaron los trabajos de inmersión que duraron hasta septiembre de 1901. Los tesoros recuperados se trasladaron al Museo de Atenas: estatuas de bronce (el *Efebo*

de *Anticitera* de 340 a. C. y la *Cabeza de filósofo* de 243 a. C.), joyas, monedas, armas, cerámicas, muebles... Al principio, apenas se prestó atención a una de las piezas, una masa amorfa y muy calcificada, del tamaño de una caja de zapatos.

Varios meses después se quebró y aparecieron entonces los restos de ruedas dentadas de bronce muy corroídas con dientes de apenas un milímetro y medio; eran pedazos de un curioso artefacto que, a primera vista, parecía a un astrolabio o dispositivo de navegación. El 17 de mayo de 1902, el arqueólogo y director del Museo Arqueológico Nacional de Atenas, Valerios Stais, advirtió una inscripción en griego antiguo en uno de los fragmentos e inmediatamente se procedió a la limpieza del mismo. Entonces se observaron en su superficie varias escalas y más inscripciones en la lengua de sus antepasados. Basándose en las dataciones de los utensilios que lo acompañaban, se estableció que el descubrimiento correspondía al 70 a. C. Este extraño aparato acabaría conociéndose como el Mecanismo de *Antikythera*.

¹Ubicación del naufragio: 35°53'27.94"N 23°18'26.57"E.

²An Ancient Greek Computer. Derek J. de Solla Price in *Scientific American* Vol. 200, No. 6, June 1959.

³*Gears from the Greeks: The Antikythera Mechanism—A Calendar Computer from ca. 80. B.C.* Derek de Solla Price in *Transactions of the American Philosophical Society*, New Series, Vol. 64, No. 7, pp. 1–70; 1974. Reimpreso por *Science History Publications: New York* (1975).



BEGOÑA PEREIRA PAGÁN
Responsable de Análisis de Datos de APS. Departamento de Seguridad.
EMPRESARIOS AGRUPADOS
Ingeniera industrial, especialidad Técnicas Energéticas, por la ETSIIM de la Universidad Politécnica de Madrid.



JOSÉ MIGUEL GARCÍA GUTIÉRREZ
Técnico de Análisis de Datos de APS. Departamento de Análisis de Seguridad.
ASOCIACIÓN NUCLEAR ASCÓ VANDELLÓS
Ingeniero de Materiales, por la ETSEIB de la Universidad Politécnica de Cataluña.

A los pocos años del descubrimiento, en 1905, el filólogo alemán Albert Rehm (1871-1949), rector de la Universidad de Munich, supuso que el objeto en cuestión no tenía que ver con la navegación propiamente dicha sino con la astronomía. Tuvieron que pasar varias décadas hasta que el mundo le dio la razón. Fue en 1950, cuando un profesor de la Universidad de Yale, físico e historiador británico, Derek de Solla Price (1922-1983) decidió analizar el instrumento con rayos X. Según Price, las inscripciones astronómicas no eran sino indicadores de un mecanismo de engranajes que, al



Figura 1. Fragmento principal del Mecanismo de Antikythera.

moverse, fijaban la posición de algunos cuerpos celestes. Publicó sus impresiones en 1959 [2].

La hipótesis fue rechazada por muchos estudiosos aunque aquello no desanimó a nuestro investigador. En 1971, Price pidió permiso al Museo Nacional Griego y a la Comisión de la Energía Atómica del país para examinar las piezas fragmentadas con radiación gamma. Colaboró con el físico griego Chalampos Karakalos, del Centro Nacional de Investigación Científica *Demokritos* de Atenas. También se tomaron radiografías. Encontraron en su interior un complejo entramado de ruedas dentadas que formaban engranajes, determinaron

Gracias a Cicerón sabemos que hubo otros dispositivos semejantes en aquella época, contruidos por Arquímedes y Posidonio. Posidonio (c. 135 - 51 a. C.) fue un filósofo, astrónomo, geógrafo, historiador y embajador nacido en Apamea, Siria. Se sabe que presidió una embajada en Roma, por lo que pudo acceder a los conocimientos de Arquímedes. Dirigió la escuela de astronomía que había fundado Hiparco en la isla de Rodas. De los documentos que de él nos han llegado se deduce que tenía grandes conocimientos sobre el movimiento de los astros y que calculó las distancias al Sol desde la Tierra y desde la Luna, así como el tamaño de la Tierra, con mayor exactitud que Aristarco de Samos, siglo y medio antes.

En *De Republica* de Marco Tulio Cicerón (106 a. C.- 43 a. C.), se habla de dos máquinas que algunos autores consideran que predicen los movimientos del Sol, la Luna y los cinco planetas conocidos en aquel momento (*estrellas errantes*). Las dos se atribuyen a Arquímedes y, tras su muerte en el asedio de Siracusa (212 a. C.), fueron llevadas a Roma por el general Marco Claudio Marcelo quien cedió una de ellas al templo de Virtus (diosa Fortaleza). El dispositivo había sido guardado como herencia familiar. Cicerón puso en voz de Philus la explicación que una vez oyó a Cayo Sulpicio Galo [4]:

...De este planetario había oído yo hablar muchas veces, a causa de la fama de Arquímedes, pero no quedé demasiado admirado de su forma, pues hay otro planetario más hermoso y popular, hecho por el mismo Arquímedes, y que el citado Marcelo había puesto dentro del templo de la diosa Fortaleza. En verdad, después de que Galo empezó a explicar científicamente ese aparato, pensé que aquel siciliano tuvo más inteligencia de la que puede alcanzar la naturaleza humana. Galo decía que era muy antigua la invención de aquella esfera sólida, que el primer modelo había sido presentado por Tales de Mileto, y que luego Eudoxo de Cnido, discípulo de Platón, le había puesto astros y estrellas fijos en la órbita celestial; y que, muchos años después, tomando prestado de Eudoxo este bello diseño, Arato lo ilustró con unos versos, no tanto por la ciencia astronómica sino por su vena poética. Pero este otro tipo de planetario, en el que se movían el Sol y la Luna, y también aquellas cinco estrellas que se llaman «errantes» y en cierto modo vagabundas, no podía acomodarse a aquel tipo de esfera sólida, y por eso es admirable el invento de Arquímedes, pues se las ingenió para reducir a una sola rotación varios cursos que eran desiguales por sus propias trayectorias. Al mover Galo este planetario, se veía cómo la luna giraba en aquella esfera de bronce tantas veces alrededor del sol cuantos eran los días naturales, de modo que en la esfera se proyectaba el eclipse de luz solar y se veía cómo la Luna entraba en la zona de sombra de la Tierra, porque el Sol, desde la región de la Luna quedaba interceptado por la Tierra...

Si damos crédito al relato anterior, podemos establecer que, alrededor del 150 a. C., al menos una de las máquinas de Arquímedes, probablemente el prototipo o algo bastante similar al mecanismo de Anticitera, aún funcionaba [5].

Herón de Alejandría (ingeniero y matemático griego que destacó en la provincia romana de Egipto, 10 - 70 d. C) describió el uso de un tren de engranajes de ejes paralelos para levantar una carga pesada aplicando una fuerza pequeña e incorporó el mecanismo de tornillo sinfín, ideado por Arquímedes, a su odómetro (dispositivo para medir distancias reales recorridas en un mapa).

Pappus de Alejandría (c. 290-350 a. C.) afirmó que Arquímedes había escrito un manuscrito que se había perdido sobre la construcción de estos dispositivos. Los textos supervivientes de la biblioteca de Alejandría describen muchas de sus creaciones, algunos elementos contienen dibujos simples. Uno de estos dispositivos es el citado odómetro, un modelo que más tarde fue empleado por los romanos para situar su marcador de millas (descrito por Marco Vitruvio y Herón de Alejandría). Los dibujos que se conservan sobre este dispositivo parecen ser funcionales, pero los intentos para su construcción fallaron hasta que se decidió sustituir la forma de los engranajes dibujados (de dientes cuadrados) por los que se observan en el mecanismo de *Antikythera* (que son en ángulo); a partir de ese momento, el aparato fue perfectamente funcional. Lo anterior hace factible que Arquímedes tuviera que ver con el mecanismo de *Antikythera*.

⁴Cónsul con el sobrino de Marcelo en 166 a. C. y acreditado por Plinio el Viejo en su *Historia Natural* (II. 53) como el primer romano que escribió un libro explicando los eclipses solares y lunares.

⁵Escritores romanos posteriores como Lactancio (*Divinarum Institutionum Libri VII*), Claudiano (*In sphaeram Archimedes*), y Proclo (Comentario en el primer libro de Euclides, *Elementos de Geometría*) en los siglos IV y V mencionan también el dispositivo de Arquímedes.

el número de los mismos, los dientes que tenía cada uno y la conexión entre ellos. Finalmente, en 1974 editó un compendio de su trabajo [3].

Las conclusiones no permitieron ya dudar de que el Mecanismo de *Antikythera* se había diseñado para representar los movimientos de, al menos, el Sol y la Luna, y posiblemente los cinco planetas más cercanos a la Tierra (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno). Price explicó que, por medio de una cursor o perilla, se podía simular el movimiento de los citados cuerpos celestes, representando la combinación que se daría en una fecha precisa. También apuntó que el instrumento había sido elaborado sobre el siglo I a. C. en la isla griega de Rodas, ubicada en el mar Egeo, suponiendo que podía haber sido construido por la Escuela de Posidonio, en las mismas fechas en que Cicerón estuvo allí (79-77 a. C.) (ver recuadro).

Cicerón también explicó que otro de estos mecanismos había sido construido recientemente por su amigo Posidonio, "... cada una de las revoluciones de las cuales trae el mismo movimiento en el Sol y la Luna y las cinco estrellas errantes [planetas] como el que es traído cada día y noche en los cielos..."

Fue en junio de 1980 cuando el premio Nobel de Física de 1965, Richard Feynman (1918-1988) acudió al Museo Arqueológico Nacional de Atenas. Escribió a su familia, diciéndoles que lo único que no le había parecido aburrido era un artificio "...recuperado del fondo del mar en 1900, ... una especie de máquina con cadenas de engranajes, muy parecida al interior de un reloj de pie moderno..." Señaló que si bien tenía claros signos de haber sufrido las inclemencias del fondo del mar durante dos milenios, se podía distinguir entre

sus piezas engranajes, escalas fragmentadas, cuadrantes, alguna aguja o puntero y varias palabras en griego, y acabó preguntándose si no sería una falsificación. Para hacernos una idea, el mecanismo de *Antikythera* está constituido por tres discos, entre el primero y los otros dos hay 40 ruedas dentadas de bronce con dientes triangulares, tallados a mano, donde unos engranajes mueven a otros, en definitiva, lo que conocemos por engranaje diferencial [6]. Oficialmente, el engranaje diferencial fue inventado por el británico James Starley en 1877 y, a modo de ejemplo, es el sistema que se empleó en los coches para que las ruedas girasen a distintas velocidades. No es de extrañar que Feynman dudara de la veracidad del instrumento. A partir de los años noventa, Michael T. Wright, especialista de Museo de Ciencia de Londres (hasta 2004) y profesor del Imperial College, descubrió nuevos detalles del mecanismo, mediante la técnica de tomografía lineal. Junto con el experto australiano sobre historia de la informática, Alan Bromley (1957-2002), de

⁷*Towards a New Reconstruction of the Antikythera Mechanism* (conferencia *Extraordinary Machines and Structures in Antiquity*) en 2001, al que seguirían otros trabajos como *Epicyclic Gearing and the Antikythera Mechanism* (*Antiquarian Horology*, part. I, 2003, pp. 270-279), *The Scholar, the Mechanic and the Antikythera Mechanism: complementary approaches to the study of an instrument* (*Bulletin of the Scientific Instrument Society*, 2004, n° 80: pp. 4-11) y *The Antikythera Mechanism. A new gearing scheme* (*Bulletin of the Scientific Instrument Society*, n° 85, 2005, pp. 2-7), y en fin, la presentación de este nuevo esquema tuvo como marco la II Conferencia Internacional sobre Tecnología Griega Antigua (17-21 de octubre de 2005): *Understanding the Antikythera Mechanism*.

⁸Artículo de François Charette *High Tech from Ancient Greece*, en *Nature*, vol. 444, pp. 551-552. Wright. 2006.

⁹*The Antikythera Mechanism Reconsidered* (*Interdisciplinary Science Review*, vol. 32, n° 1, 2007).

¹⁰El proyecto de investigación *Antikythera* está constituido por miembros de la Universidad de Cardiff (M. Edmunds, T. Freeth), Universidad de Atenas (X. Mousas, Y. Bitsakis) y la Universidad de Tesalónica (J. S. Seiradakis), en colaboración con el Museo Arqueológico de Atenas (E. Magkou, M. Zafeiropoulou) y la Institución Cultural del Banco de Grecia (A. Tselikas). Usando técnicas desarrolladas por Hewlett Packard (T. Malzbender) y X-tex (R. Hudland) se desarrolló una fotografía 3D basándose en tomografía computarizada de alta resolución.

la Universidad de Sydney, estudió los fragmentos de bronce. Wright llegó a la conclusión de que el mecanismo de *Antikythera* podía reproducir los movimientos del Sol y la Luna con bastante exactitud mediante un modelo epicíclico que se cree ideado por Hiparco (c. 190 a. C.-120 a. C.), y de los planetas Mercurio y Venus, también con un modelo epicíclico basado posiblemente en las ideas de Apolonio de Pérgamo (c. 262 a. C.-190 a. C.) No fue hasta 2001, veintisiete años después de la publicación de Price, cuando Wright propuso un nuevo modelo, presentando sus resultados tras un exhaustivo escaneo tomográfico en tres dimensiones [7]. En este último análisis se clarificaban aún más las inscripciones y las funciones de los engranajes [8]; y en un nuevo artículo se replantearía las opiniones de Price [9]. En la última década, las investigaciones se han llevado a cabo por equipos de trabajo multidisciplinarios. Por ejemplo, el encauzado a través de *Nature* estaba formado por expertos en astronomía, historiografía y mecánica, *the Antikythera Mechanism Research Project* (AMRP) [10]. Otros son el *National Hellenic Research Foundation*, la *Association of Ancient Greek Technology Studies*, el *Institute for the Study for the Ancient World*, el *Centre d'Histoire des Sciences et des Techniques* y el *Scientific Instrument Commission of the IUHPS* (*International Union for History and Philosophy of Science*). Dentro del trabajo del *Antikythera Mechanism Research Group*, se tomaron nuevas tomografías, de mayor resolución, y se empleó la técnica PTM (*Polynomial Texture Mapping*), que consiste en tomar fotografías de una superficie con una cámara fija e iluminación de distintos ángulos, para detectar las más

⁶Con esta combinación de engranajes, el artefacto incorporaba el concepto de la fase lunar basada en el mes sinódico (tiempo que tarda la Luna en completar una serie total de sus fases, por ejemplo, desde una Luna Nueva hasta la siguiente, dura 29 días, 12 horas, 44 minutos) y el mes sideral (tiempo que tarda la Luna en completar una órbita a la Tierra con respecto al fondo del firmamento, dura 27 días, 7 horas 43 minutos). Una fase lunar es una función de la posición relativa del Sol, la Luna y la Tierra, y ya que la Tierra gira alrededor del Sol como la Luna gira alrededor de la Tierra, la configuración relativa Sol-Tierra-Luna requiere los 2,21 días extras para repetir la fase lunar. Una simulación de la fase debe restar el movimiento sideral del Sol desde el movimiento lunar. De ahí la utilización de un diferencial.

¹¹*Decoding the Ancient Greek Astronomical Calculator Known as the Antikythera Mechanism*. Tony Freeth et al. in *Nature* Vol. 444, pp. 587-591, 2006. Y Supplementary notes, for *Decoding the Ancient Greek Astronomical Calculator Known as the Antikythera Mechanism*. Tony Freeth et al. 2006.

¹²*Calendars with Olympiad Display and Eclipse Prediction on the Antikythera Mechanism*. Tony Freeth, Alexander Jones, John M. Steele and Yanis Bitsakis in *Nature* Vol. 454, pp. 614-617, 2008. Supplementary Notes: *Calendars with Olympiad display and eclipse prediction on the Antikythera Mechanism*. Tony Freeth et al. 2008. *Decoding an ancient Greek Mystery*, Project at University of Michigan. Tony Freeth and Ann Arbor, 2008. *Decoding an Ancient Computer*. Tony Freeth, Scientific American, pp. 76-83, 2009.

Símbolo	Letra	Análisis	Conclusión
Π	pi	Tiene patas de distinta longitud	Segunda mitad del siglo II a. C.
Σ	sigma	Los dos trazos no horizontales en ángulo	Segunda mitad del siglo II a. C.
Μ	mu	Tiene los dos trazos no verticales sino en ángulo	Segunda mitad del siglo II a. C. Sin embargo hay una mu con los trazos verticales
Υ	upsilon	Tiene la línea vertical corta	Segunda mitad del siglo II a. C.
Α	alpha	Posterior a Alejandro Magno	Posterior al 323 a. C. (muerte de Alejandro Magno)
Ζ	zeta	Escrita como una I con largas líneas horizontale	Siglo II a. C.
Ω	omega	No como ω	Siglo II a. C.
Β	beta	Círculos superior e inferior distintos	Forma antigua
Ο	omicrón	Muy pequeña	Forma antigua
Θ	theta	Tiene una línea corta en el centro y en un caso un punto	Siglo II a. C.
Φ	phi	Es como un arco	Forma antigua
Ξ	xi	Línea central corta	Forma antigua

Tabla 1. Morfología de las letras griegas del Mecanismo de *Antikythera*.

mínimas irregularidades y permitir una mejor lectura de las inscripciones griegas. A partir de esta información se hizo una reconstrucción del instrumento [11]. En el año 2008, Tony Freeth, Alexander Jones, John Steele y Yanis Bitsakis explicaron que el mecanismo servía para fijar con exactitud la celebración de los Juegos Olímpicos en la antigüedad [12]. El físico Yannis Bitsakis explicó: “Más de 1.000 caracteres incluidos en la máquina ya habían sido descifrados pero ahora logramos duplicar el texto conocido y descifrar su contenido en un 95 %”. El interior del artefacto presentaba una inscripción con los nombres de *Nemea* (en referencia al lugar donde se celebraron uno de los juegos más importantes) y *Olimpia*. Con determinados diales se fijaba con precisión la última luna llena más próxima al solsticio de verano cada cuatro años, fecha en la que se iniciaban las Olimpiadas. Según las últimas noti-

cias, se ha podido conocer el significado de unos 3.000 caracteres grabados sobre un total estimado de 15.000 que tiene el mecanismo. A partir de la morfología de las letras griegas, se estableció su año de construcción, entre el 150 y el 100 a. C., más antiguo de lo que se creía en un principio (Tabla 1). Lo anterior se corroboró teniendo en cuenta que cada ciudad griega tenía su propio calendario y éste correspondía a la ciudad de Corinto; Corinto había sido arrasada por las tropas romanas en el año 146 a. C. La atención se centró una vez más en una de sus colonias: Siracusa y el posible legado de Arquímedes, así como la idea de que Hiparco, el más importante astrónomo de aquella época, interviniera en la creación del mecanismo (Ver recuadro). Una de las curiosidades que encontramos en el conjunto de estas inscripciones griegas (*codex Antikytheriansis*) es la mención a dos ubicaciones geográficas: “ΙΣΠΑΝΙΑ” (Hispania) y Pharos (en Alejandría); se cree que estos nombres señalaban ubicaciones para la observación de eclipses.

Aunque los distintos investigadores discrepan en algunas cosas, sí se tiene claro el funcionamiento de la mayor parte del mecanismo. Se sabe que era un paralelepípedo rectangular de 33 cm de alto por 18 cm de ancho por 10 cm de largo, y que estaba ubicado en una caja de madera con una puerta delante y otra atrás, en sus dos caras mayores. Las instrucciones de uso estaban en las dos tapas internas, en la placa trasera.

Como hemos dicho anteriormente, constaba de tres discos, tenía cuarenta ruedas de engranajes de bronce (la principal tiene 240 dientes equiláteros triangulares a 60° tallados a mano), nueve escalas móviles y tres ejes (el mayor ponía en funcionamiento todo el equipo) y, por lo menos, siete cuadrantes que señalaban distintos sucesos. El hecho de que el mecanismo había sido reparado en alguna ocasión (uno de los dientes había sido reemplazado) suponía la existencia de herramientas y maquinaria de alta precisión, algo difícil de imaginar en aquella época. El aparato se operaba haciendo girar a mano un dial o manivela que ponía en funcionamiento la cadena de engranajes: si se la giraba en un sentido, se avanzaba en el tiempo; si se lo hacía en el otro, se retrocedía (Figura 2). Es decir, estaba dotado de engranajes de gran precisión con sistemas de arrastre no lineales y mecanismos de lectura en espiral. El disco frontal muestra los progresos anuales del Sol y la Luna a través del Zodiaco, en dos escalas concéntricas. La interior, dividida en doce partes, presenta en cada una de ellas el nombre griego de la constelación que la rige. La escala exterior está a su vez dividida en 365 sectores

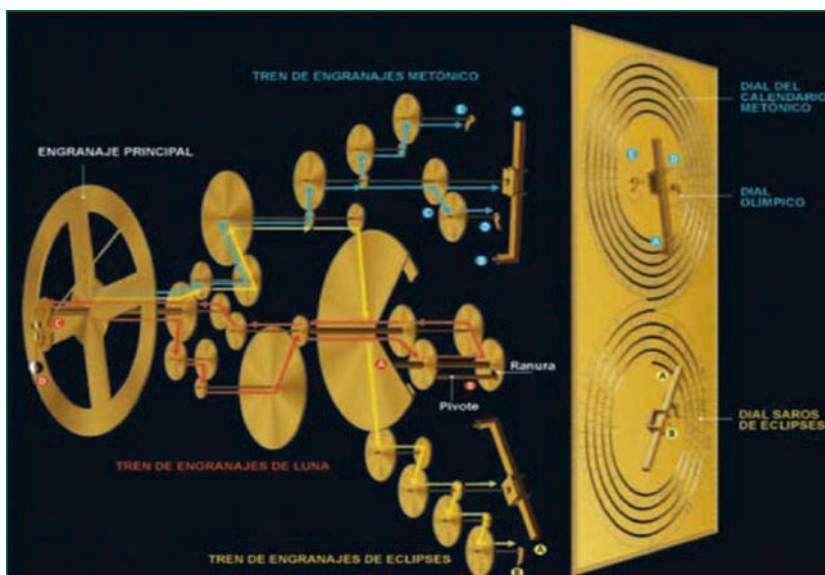


Figura 2. Cadenas cinemáticas del Mecanismo de Antikythera. Fuente: Scientific American).

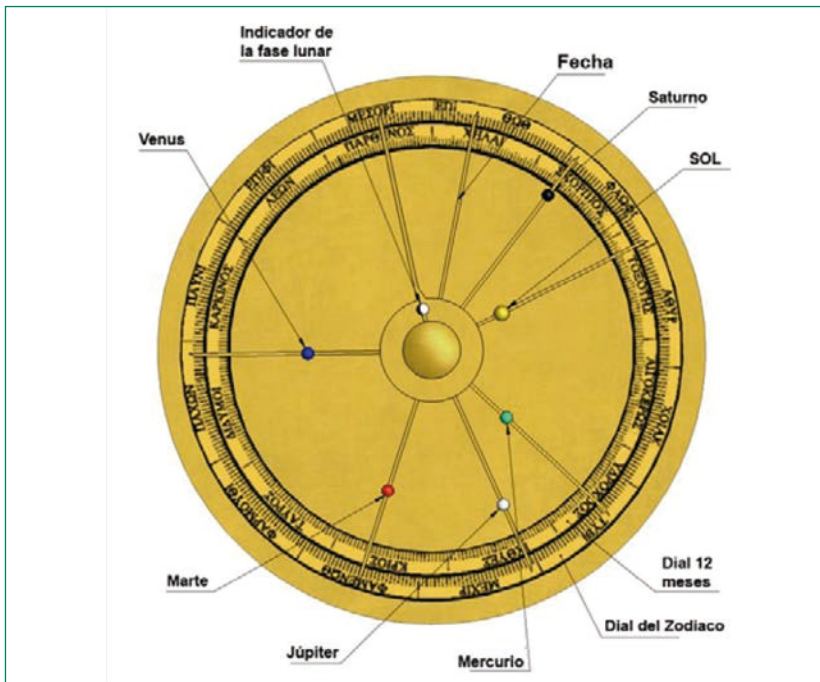


Figura 3. Dial delantero propuesto por Tony Freeth (AMRP) y Alexander Jones (*Institute for the Study for the Ancient World*).

que representan los días del año según el calendario egipcio, que se sabe que empleaban los griegos por su simplicidad con fines astronómicos. Incluye también los nombres de los doce meses de 30 días, más los cinco adicionales, llamados epagómenos [13]. Se ha deducido la existencia de dos punteros que salían del centro, uno para el Sol y otro para la Luna, que se movían a distinto ritmo y señalaban las posiciones de ambos en el zodiaco. Dado que un año no dura exactamente 365 días sino unas 6 horas más, se produciría un desfase de un día cada cuatro años (que nosotros corregimos mediante los años bisiestos); este desfase se soslayaba simplemente adelantando un día en el puntero del Sol. Por otro lado, el de la Luna no alcanzaba la escala exterior sino la interior, dando una vuelta por mes. Este puntero poseía un característica ya descubierta por Wright y consistía en una bola pequeña pintada la mitad en negro y la mitad en blanco para señalar las fases de la Luna; ésta giraba sobre su eje al ritmo de su diferencia con la posición del

Sol. 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 representando la Luna nueva. Entre ambas posiciones, mostraba los cuartos crecientes y decrecientes como esferas mitad blancas y mitad negras.

Freeth y Edmunds notaron que el mecanismo de *Antikythera* tenía en cuenta la no uniformidad en el movimiento de traslación de la Luna; y dedujeron que, aunque los griegos de la Antigüedad no supieran de las órbitas elípticas, sí eran conscientes de esos cambios de velocidad. Para solventar la cuestión, habían ideado mediante un engranaje excéntrico que el puntero no se moviera a velocidad constante, dotando al movimiento de una componente sinusoidal. En la placa fija frontal estaba grabado el *parapegma* o almanaque: una tabla con ortos y ocasos de estrellas de referencia y constelaciones (*Pléyades, Vega, Arcturo, Altair, Géminis*). Por el resto de las inscripciones encontradas, se supone que el mecanismo también señalaba la posición de los cinco planetas conocidos en la época (Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno) (Figura 3). De hecho, Wright hablaba de la existencia de otros cinco punteros que mostrarían también en el Zodiaco la posición de los mismos. Resumiendo, en la actualidad se sabe que el mecanismo recoge la siguiente información (ver recuadro):

- La posición exacta del Sol y la Luna en el zodiaco.

DIALES DELANTEROS

Dial exterior: Año egipcio (Sótico) de 365 días, dividido en 12 meses de 30 días y un suplemento de 5 días añadidos. Escala móvil que podía irse girando para añadir un día cada año bisiesto (se giraba y fijaba con un pasador que encajaba en los 365 taladros que había debajo de la escala).

Dial zodiacal: Representa la eclíptica, dividida en los 12 signos zodiacales y en 360°.

DIALES TRASEROS

Dial Metónico: Calendario luni-solar. En la parte superior, con 47 divisiones por vuelta y 5 vueltas, totaliza 235 meses del ciclo Metónico de 19 años. Incorpora días añadidos en los años bisiestos, 5 días de cada 19 años (equivalente a un año aproximado de 365,26 días). Los años eran de 12 meses (de 29 o 30 días alternos) pero añadiendo un mes cada 2 o 3 años, según una secuencia determinada

Multiplicador Calípico: Se consideran 4 ciclos metónicos, $4 \times 19 \text{ años} = 76 \text{ años}$, en los que se añade 1 día cada 4 años, obteniéndose un año de 365,25 días (como el año egipcio y casi exacto al actual).

Dial de Saros: Predicción de eclipses de Sol y de Luna. Señala la fecha y la hora en que se va a producir, la dirección de proyección de las sombras y el color del Sol o la Luna durante el eclipse. En su dial espiral consta de 223 divisiones de meses sinódicos (el tiempo que tarda en producirse la misma fase lunar), equivalentes a 242 meses draconíticos (el tiempo en que tarda la Luna en volver al mismo nodo en su órbita) = 18 años, 11 días y 8 horas = 6.585,3 días, período a partir del cual se repite el ciclo de eclipses: el *Saros*. Dado que hay 239 meses anomalísticos completos en el *Saros* (tiempo entre dos pasos de la Luna por su perigeo), están señalados los eclipses totales y parciales. Hay $239 - 223 = 16$ ciclos en un *Saros*; por eso está dividido en cuatro vueltas y en cada una hay cuatro ciclos completos lunares (coincide fase, tamaño y tipo de eclipse).

Multiplicador Exeligmos: El ciclo de *Saros* es lo que tarda en repetirse un mismo eclipse. No es exacto debido a que cada nuevo eclipse no lo hace exactamente sobre el mismo punto de la Tierra que el anterior, sino a unos 120° (equivalente de 8 horas de retraso). Cada 3 ciclos de *Saros* ($3 \times 18 \text{ años} = 54 \text{ años y } 34 \text{ días } 19.756 \text{ días}$) se repite casi exactamente el eclipse sobre el mismo punto de la Tierra, para representar esto el mecanismo incorpora un acumulador de tres *Saros*, llamado multiplicador Exeligmos.

¹³La invención del calendario civil egipcio surge a principios del tercer milenio a. C. y se tienen evidencias de su uso en época de Shepesekaf, faraón de la dinastía IV de Egipto. El año civil egipcio constaba de 365 días, dividido en tres estaciones de 120 jornadas, más cinco días añadidos, que no constituían un mes aparte. Estos cinco días eran llamados por los griegos epagómenos.

- Posiblemente, la ubicación de los planetas conocidos.
- El día del año.
- El mes del calendario luni-solar, indicando qué años tenían 13 meses y cuáles 12, qué meses constaban de 29 o 30 días, qué día debía de ser omitido y cuando corregir un día de ese calendario cada 76 años.
- Los meses y horas en que se produciría un eclipse, de qué tipo sería y si éste sería visible.
- Cómo corregir por ocho horas la predicción de eclipses en un ciclo de 54 años.
- Los años en que se celebraban los juegos olímpicos.

Todavía queda un largo camino por recorrer. En 2010, el grupo de Tacoma-Quilmes [14] planteó la posibilidad de que el sistema cosmológico del mecanismo fuese de orden estrictamente babilónico, y que los epiciclos fuesen una innovación técnica (mecánica) incorporada a los modelos del cosmos [15]; basándose en la observación de diversas anomalías en los engranajes (concretamente en el solar), que no se corresponden estrictamente con el sistema de Hiparco. Según ellos, el mecanismo no mostraría su posición en el zodíaco, sino ciertos eventos importantes para los astrónomos (el comienzo o fin de una retrogradación, la ocultación, etc). Lo que sí parece estar demostrado es que el mecanismo de *Antikythera* es un computador



Figura 4. Vista de los diales traseros, sobre reconstrucción de Tony Freeth (AMRP), (2009).

analógico mecánico, del siglo II a. C., que calculaba posiciones astronómicas de los cuerpos celestes con errores de sólo 1/40.000. Lo que nos lleva a decir, tal como comenzábamos este artículo, que el conocimiento de nuestros antepasados fue más avanzado de lo que se sospechaba y nos crea la expectativa de esperar nuevos descubrimientos que nos sorprendan (Figura 4).

BIBLIOGRAFÍA

- Wikipedia. Mecanismo de Anticitera. http://es.wikipedia.org/wiki/Mecanismo_de_Anticitera

- *El mecanismo de Anticitera. Una computadora astronómica de la antigüedad.* Christián Carlos Carman. Universidad Nacional de Quilmes. - <http://www.currentepigraphy.org/2008/09/24/inscriptions-on-the-antikythera-mechanism-1/>

- *El Mecanismo de Anticitera.* José Antonio Molina. Ed. Diaphoros.

- *Un simulador mecánico astronómico del siglo II a. C. El mecanismo de Antikythera.* Juan Antonio Bernedo Casis. Anales de la mecánica y la electricidad. Revista ICAI. http://www.revista-anales.es/web/n_13/seccion_4.html.

- *From Antikythera to the Square Kilometre Array: Lessons from the Ancients.* Kyriakos Efsthathiou, Alexandros Basiakoulis, Marianna Efsthathiou, Magdalini Anastasiou, John H. Seiradakis in *Proceedings of science*, 12-15 June 2012

- Seminario. *El Mecanismo de Anticitera; Los griegos vuelven a asombrar.* Christián Carlos Carman Universidad de Navarra, Pamplona 6 de febrero 2012.

- *High Tech from Ancient Greece*, en *Nature*, vol. 444, pp. 551-552. Wright. Artículo de François Charette. 2006.

- *Decoding the Ancient Greek Astronomical Calculator Known as the Antikythera Mechanism.* Tony Freeth et al. in *Nature* Vol. 444, pp. 587-591, 2006.

- *Supplementary notes, for Decoding the Ancient Greek Astronomical Calculator Known as the Antikythera Mechanism.* Tony Freeth et al. 2006. ■

¹⁴ Formado por James Evans y Alan Thorndike de la Universidad de Puget Sound (Tacoma, Estados Unidos) y Christián C. Carman de la Universidad Nacional de Quilmes (Quilmes, Argentina).

¹⁵ Ambas teorías están argumentadas a modo de corolario por James Evans en el artículo *Solar Anomaly and Planetary Displays in the Antikythera Mechanism* (*Journal for the History of Astronomy*, XLI, 2010).