

Isaac Asimov

Momentos estelares de la ciencia



Alianza editorial
El libro de bolsillo

Título original: *Breakthroughs in Science*
Traducción: Miguel Paredes Larrucea
Revisión científico-técnica de la traducción: David
Galadí-Enríquez

Primera edición: 1980
Tercera edición: 2010
Décima reimpresión: 2023

Diseño de colección: Estrada Design
Diseño cubierta: Manuel Estrada

Reservados todos los derechos. El contenido de esta obra está protegido por la Ley, que establece penas de prisión y/o multas, además de las correspondientes indemnizaciones por daños y perjuicios, para quienes reprodujeren, plagiaren, distribuyeren o comunicaren públicamente, en todo o en parte, una obra literaria, artística o científica, o su transformación, interpretación o ejecución artística fijada en cualquier tipo de soporte o comunicada a través de cualquier medio, sin la preceptiva autorización.

Copyright © Asimov Holdings LLC. World rights reserved and controlled by Asimov Holdings LLC.

© Alianza Editorial, S. A., Madrid, 1980, 2023
Calle Valentín Beato, 21
28037 Madrid
www.alianzaeditorial.es



PAPEL DE FIBRA
CERTIFICADA

ISBN: 978-84-206-7425-4
Depósito legal: M. 42.021-2010
Printed in Spain

Si quiere recibir información periódica sobre las novedades de Alianza Editorial, envíe un correo electrónico a la dirección: alianzaeditorial@anaya.es

Índice

9	1. Arquímedes
16	2. Johann Gutenberg
23	3. Nicolás Copérnico
30	4. William Harvey
34	5. Galileo Galilei
41	6. Anton van Leeuwenhoek
45	7. Isaac Newton
53	8. James Watt
57	9. Antoine-Laurent Lavoisier
64	10. Michael Faraday
71	11. Joseph Henry
78	12. Henry Bessemer
82	13. Edward Jenner
89	14. Louis Pasteur
96	15. Gregor Johann Mendel
100	16. William Henry Perkin
107	17. Roentgen y Becquerel
114	18. Thomas Alva Edison
122	19. Paul Ehrlich
129	20. Darwin y Wallace
136	21. Marie y Pierre Curie
144	22. Albert Einstein

- 152 23. George Washington Carver
- 156 24. Irving Langmuir
- 160 25. Rutherford y Lawrence
- 167 26. Robert Hutchings Goddard

1. Arquímedes

Cabría decir que hubo una vez un hombre que luchó contra todo un ejército. Los historiadores antiguos nos dicen que el hombre era un anciano, pues pasaba ya de los setenta. El ejército era el de la potencia más fuerte del mundo: la mismísima Roma.

Lo cierto es que el anciano, griego por más señas, combatió durante casi tres años contra el ejército romano... y a punto estuvo de vencer: era Arquímedes de Siracusa, el científico más grande del mundo antiguo.

El ejército romano conocía de sobra la reputación de Arquímedes, y éste no defraudó las previsiones. Cuenta la leyenda que, habiendo montado espejos curvos en las murallas de Siracusa (una ciudad griega en Sicilia), hizo presa el fuego en las naves romanas que la asediaban. No era brujería: era Arquímedes. Y cuentan también que en un momento dado se proyectaron hacia adelante gigantescas garras suspendidas de una viga, tomando las na-

ves, levantándolas en vilo y volcándolas. No era magia, sino Arquímedes.

Se dice que cuando los romanos –que, como decimos, asediaban la ciudad– vieron izar sogas y maderos por encima de las murallas de Siracusa, llevaron anclas y salieron de allí a toda vela.

Y es que Arquímedes era diferente de los científicos y matemáticos griegos que le habían precedido, sin que por eso les neguemos a éstos un ápice de su grandeza. Arquímedes les ganaba a todos ellos en imaginación.

Por poner un ejemplo: para calcular el área encerrada por ciertas curvas modificó los métodos de cómputo al uso y obtuvo un sistema parecido al cálculo integral. Y eso casi dos mil años antes de que Isaac Newton inventara el moderno cálculo diferencial. Si Arquímedes hubiese conocido los números arábigos, en lugar de tener que trabajar con los griegos, que eran mucho más incómodos, quizá habría ganado a Newton por dos mil años.

Arquímedes aventajó también a sus precursores en audacia. Negó que las arenas del mar fuesen demasiado numerosas para contarlas e inventó un método para hacerlo; y no sólo las arenas, sino también los granos que harían falta para cubrir la tierra y para llenar el universo. Con ese fin inventó un nuevo modo de expresar cifras grandes; el método se parece en algunos aspectos al actual.

Lo más importante es que Arquímedes hizo algo que nadie hasta entonces había hecho: aplicar la ciencia a los problemas de la vida práctica, de la vida cotidiana. Todos los matemáticos griegos anteriores a Arquímedes –Tales, Pitágoras, Eudoxo, Euclides– concibieron las matemáticas como una entidad abstracta, una manera de estudiar el

orden majestuoso del universo, pero nada más; carecía de aplicaciones prácticas. Eran intelectuales exquisitos que despreciaban las aplicaciones prácticas y pensaban que esas cosas eran propias de mercaderes y esclavos. Arquímedes compartía en no pequeña medida esta actitud, pero no rehusó aplicar sus conocimientos matemáticos a problemas prácticos.

Nació Arquímedes en Siracusa, Sicilia. La fecha exacta de su nacimiento es dudosa, aunque se cree que fue en el año 287 a.C. Sicilia era a la sazón territorio griego. Su padre era astrónomo y pariente de Hierón II, rey de Siracusa desde el año 270 al 216 a.C. Arquímedes estudió en Alejandría, Egipto, centro intelectual del mundo mediterráneo, y regresó luego a Siracusa, donde se hizo inmortal.

En Alejandría le habían enseñado que el científico está por encima de los asuntos prácticos y de los problemas cotidianos; pero eran precisamente esos problemas los que fascinaban a Arquímedes, los que no podía apartar de su mente. Avergonzado de esta afición, se negó a llevar un registro de sus artilugios mecánicos; pero siguió construyéndolos y a ellos se debe hoy día su fama.

Arquímedes había adquirido renombre mucho antes de que las naves romanas entraran en el puerto de Siracusa y el ejército romano pusiera sitio a la ciudad. Uno de sus primeros hallazgos fue el de la teoría abstracta que explica la mecánica básica de la palanca. Imagine una viga apoyada sobre un pivote, de manera que la longitud de la viga a un lado del fulcro sea diez veces mayor que el otro lado. Al empujar hacia abajo la viga por el brazo más largo, el extremo corto se desplaza una dis-

tancia diez veces inferior; pero, a cambio, la fuerza que empuja hacia abajo el lado largo se multiplica por diez en el extremo del brazo corto. Podría decirse que en cierto sentido, la distancia se convierte en fuerza y viceversa.

Arquímedes no veía límite a este intercambio que aparecía en su teoría, porque si bien era cierto que un individuo disponía sólo de un acopio restringido de fuerza, la distancia carecía de fronteras. Bastaba con fabricar una palanca suficientemente larga y tirar hacia abajo del brazo mayor a lo largo de un trecho suficiente: en el otro brazo, el más corto, podría levantarse cualquier peso.

—Dadme un punto de apoyo —dijo Arquímedes— y moveré el mundo.

El rey Hierón, creyendo que aquello era un farol, le pidió que moviera algún objeto pesado: quizá no el mundo, pero algo de bastante volumen. Arquímedes eligió una nave que había en el dique y pidió que la cargaran de pasajeros y mercancías; ni siquiera vacía podrían haberla botado gran número de hombres tirando de un sinfín de sogas.

Arquímedes anudó los cabos y dispuso un sistema de poleas (una especie de palanca, pero utilizando sogas en lugar de vigas). Tiró de la soga y con una sola mano botó lentamente la nave.

Hierón estaba ahora más que dispuesto a creer que su gran pariente podía mover la tierra si quería, y tenía suficiente confianza en él para plantearle problemas aparentemente imposibles.

Cierto orfebre le había fabricado una corona de oro. El rey no estaba muy seguro de que el artesano hubiese

obrado rectamente; podría haberse guardado parte del oro que le habían entregado y haberlo sustituido por plata o cobre. Así que Hierón encargó a Arquímedes averiguar si la corona era de oro puro, sin estropearla, se entiende.

Arquímedes no sabía qué hacer. El cobre y la plata eran más ligeros que el oro. Si el orfebre hubiese añadido cualquiera de estos metales a la corona, ocuparían un espacio mayor que el de un peso equivalente de oro. Conociendo el espacio ocupado por la corona (es decir, su volumen) podría contestar a Hierón. Lo que no sabía era cómo averiguar el volumen de la corona sin transformarla en una masa compacta.

Arquímedes siguió dando vueltas al problema en los baños públicos, suspirando probablemente con resignación mientras se sumergía en una tinaja llena y observaba cómo rebosaba el agua. De pronto se puso en pie como impulsado por un resorte: se había dado cuenta de que su cuerpo desplazaba agua fuera de la bañera. El volumen de agua desplazado tenía que ser igual al volumen de su cuerpo. Para averiguar el volumen de cualquier cosa bastaba con medir el volumen de agua que desplazaba. ¡En un golpe de intuición había descubierto el principio del desplazamiento! A partir de él dedujo las leyes de la flotación y de la gravedad específica.

Arquímedes no pudo esperar: saltó de la bañera y, desnudo y empapado, salió a la calle y corrió a casa, gritando una y otra vez: «¡Lo encontré, lo encontré!». Sólo que en griego, claro está: «¡Eureka! ¡Eureka!». Y esta palabra se utiliza todavía hoy para anunciar un descubrimiento feliz.

Llenó de agua un recipiente, metió la corona y midió el volumen de agua desplazada. Luego hizo lo propio con un peso igual de oro puro; el volumen desplazado era menor. El oro de la corona había sido mezclado con un metal más ligero, lo cual le daba un volumen mayor y hacía que la cantidad de agua que rebosaba fuese más grande. El rey ordenó ejecutar al orfebre.

Arquímedes jamás pudo ignorar el desafío de un problema, ni siquiera a edad ya avanzada. En el año 218 a.C. Cartago (en el norte de África) y Roma se declararon la guerra; Aníbal, general cartaginés, invadió Italia y parecía estar a punto de destruir Roma. Mientras vivió el rey Hierón, Siracusa se mantuvo neutral, pese a ocupar una posición peligrosa entre dos gigantes en combate.

Tras la muerte de Hierón ascendió al poder un grupo que se inclinó por Cartago. En el año 213 a.C. Roma puso sitio a la ciudad.

El anciano Arquímedes mantuvo a raya al ejército romano durante tres años. Pero un solo hombre no podía hacer más y la ciudad cayó al fin en el año 211 a.C. Ni siquiera la derrota fue capaz de detener el cerebro incansable de Arquímedes. Cuando los soldados entraron en la ciudad estaba resolviendo un problema con ayuda de un diagrama. Uno de aquéllos le ordenó que se rindiera, a lo cual Arquímedes no prestó atención; el problema era para él más importante que una minucia como el saqueo de una ciudad. «No me estropeéis mis círculos», se limitó a decir. El soldado le mató.

Los descubrimientos de Arquímedes han pasado a formar parte de la herencia de la humanidad. Demostró que era posible aplicar una mente científica a los proble-

mas de la vida cotidiana y que una teoría abstracta de la ciencia pura –el principio que explica la palanca– puede ahorrar esfuerzo a los músculos del hombre.

Y también demostró lo contrario: porque arrancando de un problema práctico –el de la posible adulteración del oro– descubrió un principio científico.

Hoy día creemos que el gran deber de la ciencia es *comprender* el universo, pero también *mejorar* las condiciones de vida de la humanidad en cualquier rincón de la tierra.

2. Johann Gutenberg

En 1454 se estaba preparando para su publicación la primera edición impresa del libro más vendido del planeta. El lugar, Alemania; el editor, Johann Gutenberg. Pero como los premios de este mundo son a veces caprichosos, sus esfuerzos le llevaron a la ruina un año después.

Johann Gutenberg venía experimentando con pequeños rectángulos de metal desde hacía veinte años. Todas las piezas tenían que ser exactamente de la misma anchura y altura para que encajaran perfectamente unas con otras. La parte superior de cada rectángulo estaba moldeada delicadamente en la forma de una letra del alfabeto, sólo que invertida.

Imaginémonos estas piezas de metal colocadas unas junto a otras formando filas y columnas muy apretadas; las entintamos uniformemente y apretamos con fuerza sobre ellas un pliego de papel.

Levantamos el papel: como por arte de magia, aparece cubierto de tinta con la forma de las letras, pero mirando en la dirección correcta. Las letras forman palabras, y de palabras se compone la página de un libro.

Las gentes de Europa y de Asia habían hecho ya lo mismo con anterioridad, sólo que tallando las palabras o caracteres en bloques de madera; la talla era a menudo muy tosca y sólo servía para una única «xilografía». La idea de Gutenberg fue fabricar elegantemente cada letra en un «tipo» metálico individual; una vez completada e impresa una página, podía utilizarse el mismo tipo para otra, y una pequeña colección de tipos móviles servía para componer cualquier libro del mundo. Esta innovación fue obra de Gutenberg, y aunque quizá habría que llamarla un triunfo de la tecnología y no de la ciencia, no deja de ser un descubrimiento importante.

Hoy día se conservan fragmentos de páginas que Gutenberg imprimió entre 1440 y 1450: parte de un calendario y un fragmento religioso. Pero fue en 1454 cuando construyó seis prensas y comenzó a componer el libro más grande de todos: la Biblia.

Trescientas veces se estampó la primera hoja de papel contra los tipos entintados, y de allí salieron otras tantas hojas impresas idénticas. Luego se reordenaron los tipos para componer la segunda página, después la tercera, etcétera, hasta un total de 1.282 páginas diferentes, con 300 ejemplares de cada una. Una vez encuadernadas, salieron 300 ejemplares idénticos de la Biblia: la edición más importante de cuantas se han hecho de este libro, por ser la primera que se imprimió en el mundo occidental.

Hoy día sólo se conservan 45 ejemplares de la Biblia de Gutenberg. El valor de cada uno es incalculable, pero a Gutenberg no le reportaron ni un céntimo.

La mala fortuna persiguió a Gutenberg durante toda su vida. Nació alrededor de 1398 en la ciudad de Maguncia, Alemania, en el seno de una familia bien acomodada. Si las cosas hubiesen discurrido pacíficamente, es muy posible que Gutenberg hubiese podido realizar sus experimentos sin ningún problema. Pero por aquel tiempo había contiendas civiles en Maguncia, y la familia Gutenberg, que estaba del lado de los perdedores, tuvo que marchar precipitadamente a Estrasburgo, 160 kilómetros al sur. Esto ocurría seguramente hacia 1430.

En el año 1435, Gutenberg estaba metido en algún negocio. Los historiadores no saben con seguridad de qué negocio se trataba; pero lo cierto es que se vio mezclado en un pleito relacionado con el asunto y allí se dijo la palabra «*drucken*», que en alemán quiere decir «imprimir».

En 1450 le volvemos a encontrar en Maguncia y dedicado definitivamente a la impresión, cosa que se sabe porque pidió prestados 800 florines a un hombre llamado Tohann Fust para comprar herramientas. En total debieron de ser veinte años de experimentos, inversiones, trabajo y esperas, así como de fragmentos impresos que no reportaban ningún beneficio ni despertaban ningún interés.

Gutenberg comenzó, finalmente, en 1454 a componer su Biblia, en latín, a doble columna, con 42 líneas por página e iluminadas varias de ellas con estupendos dibu-

jos a mano. Nada se omitió en este gran envite final: la cúspide de la vida de Gutenberg. Pero Fust le denunció por el dinero prestado.

Gutenberg perdió el pleito y tuvo que entregar a Fust herramientas y prensas en concepto de indemnización. Incluso es probable que no consiguiera terminar la Biblia y que esa empresa la completara la sociedad compuesta por Fust y un tal Peter Schoeffer. Ambos adquirieron renombre en el campo de la impresión; Gutenberg se hundió en la oscuridad.

Más tarde logró dinero prestado en otra parte para seguir trabajando en la imprenta; pero aunque nunca arrojó la toalla, tampoco logró pagar sus deudas. Murió en Maguncia, hacia 1468, en medio de la ruina económica.

Lo que no fue un fracaso fue el negocio de las imprentas, que se propagó con fuerza imparable. Hacia 1470 había prensas en Italia, Suiza y Francia. William Caxton fundó, en 1476, la primera imprenta de Inglaterra, y en 1535 el invento cruzó el Atlántico y se estableció en la ciudad de México.

Europa era por aquel entonces escenario de una revolución religiosa. Martín Lutero inició en 1517 su disputa con la Iglesia católica, que terminó con el establecimiento del protestantismo. Antes de Lutero había habido muchos otros reformadores, pero de influencia siempre escasa; sólo podían llegar a la gente a través de prédicas y sermones y la Iglesia tenía medios para silenciarlos.

Lutero vivió en cambio en un mundo que conocía la imprenta. Además de predicar, escribía sin descanso. Docenas de sus panfletos y manifiestos pasaron por la imprenta y se difundieron copiosamente por toda Ale-

mania. A la vuelta de pocos años toda Europa vibraba con el choque de ideas religiosas encontradas.

Gracias a la imprenta, las Biblias se abarataron, proliferaron y empezaron a editarse en el idioma que hablaba la gente, no en latín. Muchos buscaron directamente inspiración en este libro, y por primera vez se pudo pensar en la alfabetización universal. Hasta entonces no había tenido sentido enseñar más que a unos cuantos a leer; los libros eran tan escasos que, quitando a un puñado de eruditos, hubiese sido una pérdida de tiempo.

En resumen: la imprenta creó la opinión pública. Un libro como el *Common Sense*, de Thomas Paine, podía llegar a cualquier granja de las colonias americanas y propagar la guerra de Revolución mejor que ningún otro medio.

La imprenta contribuyó al nacimiento de la democracia moderna. En la antigua Grecia, la democracia sólo podía existir en ciudades pequeñas donde las ideas pudiesen difundirse por vía oral. La imprenta, por el contrario, era capaz de multiplicar las ideas y ponerlas al alcance de cualquier ojo y de cualquier mente. Podía tener suficientemente bien informadas a millones de personas para que participaran en el gobierno.

Claro es que de la imprenta también podía abusarse. Un uso hábil de la propaganda a través de la palabra escrita podía hacer que las guerras fuesen más terribles y las dictaduras más poderosas. La difusión del alfabetismo no garantizaba que lo que la gente leía fuese bueno ni sabio. Pero aun así podemos decir que los beneficios han sido mayores que los males. La imprenta ha permiti-

do poner nuestros conocimientos al servicio de las generaciones futuras.

Antes de que Gutenberg fabricara sus pequeños recángulos de metal, todos los libros eran escritos a mano. La preparación de un libro suponía muchas semanas de trabajo agotador. Poseer un libro era cosa rarísima, tener una docena de ellos era signo de opulencia. Destruir unos cuantos libros podía equivaler a borrar para siempre el testimonio de un gran pensador.

En el mundo antiguo, el vastísimo saber y la abundante literatura de Grecia y Roma estaban depositados en unas cuantas bibliotecas. La mayor de ellas, la de Alejandría, en Egipto, quedó destruida por el fuego durante las revueltas políticas del siglo v. Otras desaparecieron a medida que las ciudades fueron cayendo víctimas de la guerra y las conquistas.

Al final sólo quedaron las bibliotecas de Constantinopla para preservar el legado de Grecia y Roma. Los cruzados de Occidente saquearon la ciudad en 1204, y en 1453 –un año antes de que apareciera la Biblia de Gutenberg– cayó en manos de los turcos.

Los cruzados y los turcos aniquilaron la gran ciudad, saquearon sus tesoros y destruyeron la mayor parte de los libros y obras de arte. La gente instruida, en su huida, se llevó consigo los manuscritos que pudieron salvar; pero era una porción ridícula del total.

Uno de los dramaturgos más grandes de todos los tiempos, el griego Sófocles, escribió unas cien tragedias. Sólo se conservan siete. De la poesía de Safo sólo quedan algunos fragmentos, y lo mismo ocurre con varios filósofos. Por fortuna se conserva casi todo Homero, casi todo

Heródoto y la mayor parte de Platón, Aristóteles y Tucídides; pero por pura suerte. Gran parte de la cultura antigua murió en Constantinopla.

Semejante desastre es probable que no se pueda repetir jamás gracias a la imprenta. Cualquiera persona puede tener en su casa cientos de libros en ediciones nada caras, y cualquier ciudad modesta puede poseer una biblioteca equiparable a la de Alejandría o Constantinopla por el número de volúmenes.

Los conocimientos del hombre son hoy día tan inmortales como él mismo, porque sólo pueden desaparecer con la destrucción total de la raza humana.

Gutenberg murió en la ruina, pero su obra fue uno de los grandes logros de la humanidad.

3. Nicolás Copérnico

En 1543, el anciano Nicolás Copérnico, heptagenario, yacía en el lecho de la muerte; mientras tanto, su gran libro libraba en la imprenta otra batalla contra el tiempo. El 24 de mayo, su mano enervada recibía, por fin, el primer ejemplar impreso del libro. Puede que sus ojos opacos lo vieran, pero la memoria y la mente estaban ya ausentes. Murió ese mismo día, sin saber que por fin había movido la Tierra.

Mil setecientos años atrás, Arquímedes se había ofrecido a mover la Tierra si le daban un punto de apoyo. Copérnico había cumplido ahora tan orgullosa promesa: había encontrado la Tierra en el centro del universo y, con el poder de la mente, la había lanzado lejos, muy lejos, a la infinitud del espacio, en donde ha estado desde entonces.

Nicolaus Koppernigk nació en Toruń (Polonia), el 19 de febrero de 1473. Los hombres de letras escribían por

aquel entonces en latín y adoptaban nombres latinizados, de manera que Koppernigk se convirtió en Copernicus o Copérnico, que es la forma que ha prevalecido hasta nuestros días.

Copérnico, el científico polaco más notable hasta los tiempos de Madame Curie, bebió ávidamente de las fuentes de saber de toda Europa, como tantos otros eruditos de su época. Comenzó estudiando en la Universidad de Cracovia, donde se enfrascó en las matemáticas y en la pintura. En 1496 marchó a Italia, que por entonces era el epicentro del saber y permaneció allí por espacio de diez años, estudiando Medicina en Padua y Derecho en Bolonia.

En todos los campos se desenvolvía Copérnico con soltura. Cuando, finalmente, regresó a Polonia en 1506 ejerció la Medicina profesionalmente, y a él acudían pobres y ricos. Era miembro del capítulo catedralicio de su diócesis y administraba dos de los distritos principales.

Pero no fue ni en Derecho ni en Medicina ni en los asuntos de gobierno –pese a sobresalir en todos ellos– donde Copérnico dio la campanada, sino en Astronomía. Y su afición a este campo también nació durante sus viajes italianos.

Italia era, en 1500, un torbellino intelectual: ideas nuevas flotaban en el aire y las antiguas estaban en declive. Pensemos, por ejemplo, en las teorías acerca del movimiento de los cuerpos celestes.

Todas las estrellas, así como el Sol, la Luna y los planetas, giraban cada día alrededor de la Tierra de este a oeste. Pero los hombres de ciencia coincidían en que aquello era pura apariencia: la Tierra era un globo que giraba

en torno a su eje de oeste a este, y el movimiento diario de los cielos era ilusorio.

Si la Tierra no girase, las estrellas aparecerían quietas en el mismo sitio. La Luna, sin embargo, cambia de posición respecto a las «estrellas fijas». En el espacio de veintinueve días (ignorando la rotación de la Tierra), la Luna recorre un circuito celeste completo de oeste a este. El Sol hace lo propio, sólo que más lentamente, y necesita trescientos sesenta y cinco días para efectuarlo.

Era evidente que la Luna y el Sol giraban alrededor de la Tierra; hasta ahí la cosa iba bien; lo que no encajaba eran los planetas.

En tiempos de Copérnico se conocían cinco de ellos: Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno. Los cinco cambiaban de posición respecto a las estrellas, pero de una manera muy rara y complicada. Mercurio y Venus salían unas veces por la mañana, otras por la tarde; y nunca lucían en lo alto de los cielos, sino siempre cerca del horizonte (más Mercurio que Venus).

Por otro lado, Marte, Júpiter y Saturno aparecían en ciertas ocasiones sobre la cabeza del observador. Cada uno de ellos describía un círculo completo en el cielo, de oeste a este, pero sus movimientos no eran constantes. En cada revolución había un momento en que Marte desaceleraba, daba marcha atrás y viajaba durante un rato de este a oeste. Este desplazamiento hacia atrás se denominaba «movimiento retrógrado». Júpiter describía un movimiento retrógrado doce veces en cada una de sus revoluciones (mayores que la de Marte) y Saturno treinta veces en cada vuelta (mayor que la de Júpiter).