

COPÉRNICO

CARLOS BLANCO

COLECCIÓN: GUÍA PARA JÓVENES

CONTENIDO

Prefacio

Capítulo 1. Aristarco de Samos propone un primer modelo heliocéntrico... pero con poco éxito

Capítulo 2. Y llegó el Renacimiento

- 1. Una nueva visión del mundo**
- 2. La imprenta.**
- 3. Un antes y un después**

Capítulo 3. Dios dijo: “Hágase Copérnico”.

- 1. Primeros años en Polonia.**
- 2. Copérnico en Italia.**

Capítulo 4. ¿Y si la Tierra no fuera el centro del Universo? El *Commentariolus*.

- 1. Un manuscrito innovador.**
- 2. El universo geocéntrico.**
- 3. Una nueva hipótesis: el heliocentrismo y el movimiento de retrogradación de los planetas.**

Capítulo 5: Réquiem aeternam: *De Revolutionibus Orbium Coelestium*

- 1. Un libro que hizo época.**
- 2. Un libro en varios libros.**
- 3. Dos teorías: sus pros y contras.**
- 4. Un curioso prólogo que da mucho que pensar.**
- 5. Copérnico y su influencia.**

Capítulo 6. Tycho Brahe, Galileo, Kepler, Newton, o el triunfo de Copérnico.

- 1. Tycho Brahe vuelve al geocentrismo.**
- 2. Galileo, genio y figura.**
- 3. Johannes Kepler y las órbitas elípticas.**
- 4. Un titán de la Ciencia llamado Isaac Newton.**

Capítulo 7. Copérnico, ejemplo de revolucionario.

Cronología

Apéndice: índice de los capítulos de los tres primeros libros del *De Revolutionibus Orbium Coelestium*.

Bibliografía

Copérnico en la red

Glosario

Índice analítico

PREFACIO

Pocos nombres en la historia de la Ciencia y de la cultura ejercen una fascinación tan poderosa como el de Nicolás Copérnico. Copérnico es sinónimo de creatividad, de originalidad, de singularidad, de la iniciativa que la mente humana es capaz de tomar de cara a la comprensión del Universo y de sí misma.

Cuando el común de los mortales parece hechizado por una imagen del mundo, y alguien se atreve a proponer un modelo alternativo que acaba resultando más certero que el anterior, es inevitable que surja una gran admiración, ante todo, por las posibilidades del intelecto humano. No estamos abocados a pensar exclusivamente del modo en que en un determinado momento o época histórica se razona; no estamos abocados a seguir los paradigmas que se imponen ahora; no estamos abocados, en suma, a conformarnos con lo que hay. Las mentes geniales, como la de Copérnico, nos enseñan que lo más propio del ser humano es plantearse nuevas metas e ir más allá de las barreras que las circunstancias históricas nos van poniendo. Interrogarse, preguntarse por el porqué de las cosas y mostrar amplitud de miras en la observación del mundo y de la sociedad, son algunas de las claves del progreso humano.

Y tampoco puede dejar de maravillarnos el alcance de la mente humana, que por sí sola y con el valor del razonamiento y de la lógica intrínseca de sus argumentos, llega a explorar la estructura del Cosmos. Copérnico no fue, como Yuri Gagarin o Amstrong, al espacio, pero con su sola inteligencia seguramente pudo ver más de lo que Gagarin, Amstrong o cualquier otro astronauta hayan contemplado.

En este libro hemos querido ofrecer una introducción a la vida y a la obra de Copérnico. No disponemos del mismo número de datos biográficos que en el caso de otras figuras eminentes de la historia de la Ciencia y del pensamiento, pero en cualquier caso hemos intentado engarzar lo que sabemos sobre su trayectoria personal con el contexto histórico, contexto éste marcado por la emergencia de una nueva sensibilidad (el Renacimiento, el humanismo...) y por descubrimientos geográficos e invenciones tecnológicas, que acabarían configurando la sociedad moderna.

Asimismo, hemos expuesto los fundamentos de de la teoría heliocéntrica de Copérnico. Cuando se explica que Copérnico propuso que era el Sol, y no la Tierra, el que permanecía inmóvil en el centro del Universo, se corre el riesgo de caer en una simplificación. Por ello, nos ha parecido interesante detallar con mayor amplitud los principios de su modelo heliocéntrico, que ya se encontraban en una obra temprana como es el *Commentariolus*, para luego analizar cómo los desarrolló en su *opus magnum*, el *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, uno de los libros más influyentes de la historia de la Ciencia y que, paradójicas del destino, se publicó poco antes de fallecer Copérnico en mayo de 1543.

Copérnico propuso una teoría que, en realidad, constituía una hipótesis matemática que simplificaba los cálculos con respecto al modelo geocéntrico de Tolomeo, que necesitaba muchos más epiciclos para explicar el movimiento de los planetas. Peor su teoría tardó mucho en ser comprobada, entre otras cosas porque aún no se disponía de las herramientas conceptuales adecuadas ni de instrumentos como el telescopio.

En la época de Copérnico, la Ciencia estaba en ciernes. No existía un método científico claramente delimitado que permitiera conjugar adecuadamente experimentación y razonamiento teórico. No fue hasta Galileo, y finalmente con los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* de Isaac Newton, publicados en 1687, que la Humanidad dispuso de lo que hoy conocemos como ciencia. Fue justamente la revolucionaria aportación de Copérnico uno de los elementos decisivos que impulsaron a algunas de las mentes más privilegiadas de todos los tiempos a desarrollar un método científico y un armazón conceptual (con nociones que hoy nos son tan familiares como las de fuerza o aceleración) que permitieran ofrecer una visión rigurosa del Universo, acorde con las observaciones, y capaz de efectuar predicciones comprobables. Así, Copérnico actuó como una especie de catalizador que llevó a otros grandes científicos a configurar la ciencia moderna.

Copérnico siempre permanecerá como ejemplo único de visionario, símbolo de las auténticas virtualidades de la mente humana.

CAPÍTULO I: ARISTARCO DE SAMOS PROPONE UN PRIMER MODELO HELIOCÉNTRICO... PERO CON POCO ÉXITO

Casi todas las grandes ideas que el ser humano ha alumbrado a lo largo de la Historia tienen precedentes. La democracia, tal y como la conocemos a día de hoy los herederos de Montesquieu, existía ya, aunque de manera enormemente limitada, en la antigua Grecia, y el cálculo infinitesimal de Newton y de Leibniz había sido anticipado siglos antes por matemáticos de otros continentes. Otros antes que Edison inventaron la bombilla como otros antes que Galileo diseñaron ya el telescopio. Y así en incontables situaciones. De ello, algunos han llegado a decir que la labor del historiador de la Ciencia consiste en probar que nadie ha descubierto nada.

Lo mismo puede decirse de la teoría que ha hecho tan famoso al astrónomo polaco Nicolás Copérnico, el *heliocentrismo*, es decir, el modelo cosmológico que sitúa al Sol en el centro del Universo y hace girar a la Tierra en torno a él, por oposición al modelo *geocéntrico*, que ubica la Tierra en el centro del Universo y hace girar el Sol en torno a ella. Hubo astrónomos en la Antigüedad que propusieron, al igual que haría Copérnico en el siglo XVI, un modelo heliocéntrico. El problema es que su modelo era tan rudimentario y contenía errores tan importantes que pocos lo aceptaron, sobre todo cuando se llegó a disponer de una teoría, como la de Claudio Tolomeo y su *Almagesto* en el siglo II después de Cristo, que poseía un notable rigor científico y matemático. No se trataba tanto de prejuicios (éstos quizás surgirían cuando el geocentrismo adquirió arraigo en la sociedad y en la cultura, con el paso de los siglos) como en problemas internos de la teoría.

El más célebre de los modelos heliocéntricos de la antigua Grecia fue el del astrónomo Aristarco de Samos. Aristarco, “el Copérnico griego” que da nombre a uno de los cráteres de la Luna, nació en torno al año 310 antes de Cristo en la isla de Samos, en el Mar Egeo, muy cerca de la costa de Turquía, en una región llamada “Jonía” (donde comenzó la filosofía occidental, con nombres como Tales de Mileto, Anaxímenes o Anaximandro, todos ellos jonios: ¡una tierra muy fértil para pensar!).

El maestro de Aristarco fue Filolao de Crotón, un filósofo pitagórico. Los pitagóricos eran los hijos intelectuales del que quizás sea el más famoso de los matemáticos de griegos, Pitágoras de Samos. A los niños que muestran habilidades especiales para las matemáticas se les llama “pitagorines”, en su honor. Pero Pitágoras no fue sólo un genial matemático. Se convirtió en una especie de líder religioso que fundó un movimiento que seguía sus enseñanzas. Los pitagóricos estaban fascinados por la mística, el esoterismo y la armonía; eran vegetarianos y ascetas, y creían que los números constituían la esencia de todas las cosas. ¿No nos recuerda esto a Platón? Platón también admiraba la geometría y la aritmética en sumo grado, seguramente

inspirado por Pitágoras. La ciencia moderna, al adoptar el lenguaje de las matemáticas como herramienta para describir el mundo, ha asimilado no pocas ideas de Pitágoras.

Así que Aristarco era, indirectamente, un discípulo de Pitágoras. Escribió obras como *Sobre los tamaños y las distancias del Sol y la Luna*, pero el libro donde realmente expuso su prototipo de modelo heliocéntrico se ha perdido, y sólo tenemos noticia de él por referencias externas, fundamentalmente los trabajos de Arquímedes de Siracusa. El genial Arquímedes, el mayor matemático de la Antigüedad, nos dice textualmente: “Aristarco ha ofrecido un libro con ciertas hipótesis, donde aparece, como consecuencia de sus asunciones, que el Universo es mucho más grande que el “universo” que se acaba de mencionar. Sus hipótesis son que las estrellas fijas y el Sol permanecen estáticas, que la Tierra da vueltas en torno al Sol en la circunferencia de un círculo, con el Sol en el centro de la órbita, y que la esfera de las estrellas fijas, situada hacia el mismo centro que el Sol, es tan grande que el círculo en el que supone que la Tierra gira guarda una proporción tal a la distancia a las estrellas fijas como el centro de la esfera a su superficie”.

Las palabras de Arquímedes son muy interesantes para entender lo que Aristarco realmente pensó. Para empezar, Aristarco debió de tener claro que un modelo no geocéntrico requería de un universo mucho más grande de lo que normalmente se concebía. De hecho, y como veremos, uno de los rasgos principales del modelo heliocéntrico y de todas las imágenes cosmológicas que han venido tras él es, precisamente, esa “ampliación” del horizonte cósmico, antes más reducido.

Y en ese universo de mayores dimensiones, las estrellas fijas y el Sol permanecen inmóviles, en reposo (¡no la Tierra!), y en órbitas circulares (esto también lo mantendrá Copérnico, hasta Kepler). Y Aristarco resuelve, en cierto sentido, el problema del *paralaje*: como las estrellas están muy lejos, no se puede ver paralaje alguno (cambio en la posición de un objeto con respecto a otro debido al movimiento del observador), ya que no se observa movimiento de una estrella con respecto a otra, justamente a causa de esa descomunal distancia.

Pero pocos (entre ellos el astrónomo Seleuco de Seleucia -¡nombre poco original!-, de la zona de Mesopotamia) hicieron caso a Aristarco. Claudio Tolomeo propuso un modelo geocéntrico mucho más completo y preciso que el de Aristarco, que acabaría imponiéndose con el tiempo y que permanecería casi inalterado hasta el siglo XVI.

Los astrónomos posteriores a los griegos, los medievales (judíos, cristianos y del mundo islámico), realizaron logros notables, aunque no hubo un cambio “conceptual” significativo, esto es, una nueva propuesta de imagen del Universo. El geocentrismo se tomó como dato incuestionable, y el vigor científico y matemático de la antigua Grecia no se recuperaría hasta los siglos XVI y XVII.

Resumen

El astrónomo Aristarco de Samos, en el siglo III a.C. y natural de la isla homónima del Mar Egeo, propuso un modelo heliocéntrico bastante primitivo que no disfrutó de gran acogida debido a su escasa precisión.

Las referencias principales que nos han llegado de Aristarco afirman que concibió un universo mayor de lo creído habitualmente, con el Sol y las estrellas estáticos, y la Tierra girando alrededor del Sol.

Palabras Clave

Geocentrismo: teoría astronómica que afirma que es la Tierra la que permanece inmóvil, girando el Sol y los planetas a su alrededor.

Heliocentrismo: teoría astronómica que sostiene que el Sol permanece inmóvil, girando la Tierra a su alrededor.

Pitagóricos: seguidores del célebre matemático y filósofo griego Pitágoras, famoso por el teorema que lleva su nombre (en un triángulo rectángulo, la suma de los catetos al cuadrado es igual a la hipotenusa al cuadrado), que también formuló una doctrina que señalaba la importancia de los números en naturaleza (para muchos, un precedente de la matematización de la Ciencia). Los pitagóricos constituían una especie de comunidad, con reglas morales y prácticas características.

CAPÍTULO 2. Y LLEGÓ EL RENACIMIENTO

1. Una nueva visión del mundo

Las grandes épocas se caracterizan por mostrar una serie de “paradigmas” o de esquemas mentales que, en cierto modo, son compartidos por la mayoría de la población del momento. Y si el pensamiento medieval había estado dominado por la filosofía de Aristóteles (asimilada para la teología cristiana por Santo Tomás de Aquino), que se había convertido en la enseñanza oficial en las grandes universidades y centros del saber, ya en el siglo XIII comenzó a surgir, principalmente en Italia, una nueva sensibilidad. Esta nueva forma de ver el mundo desembocaría en el humanismo y en el Renacimiento, que especialmente a lo largo de los siglos XV y XVI se extenderían por todo el panorama cultural europeo, inaugurando una etapa que a la larga llevaría al surgimiento de la Edad Moderna, de la que somos en gran parte deudores nosotros, los hombres y mujeres del siglo XXI.

Es inevitable, a la hora de acercarse a un determinado período de la Historia, llevar a cabo algunas simplificaciones necesarias, pero siempre matizables. Y, en este caso, podría decirse que si en sus grandes líneas, la filosofía medieval se había definido por un seguimiento de la obra de Aristóteles, al que se le consideraba la gran autoridad en temas de filosofía y ciencia (se le tenía por el *Philosophus*, el filósofo por excelencia), con el humanismo renacentista nace la mentalidad crítica. Los estudiosos del Renacimiento no se conformarán con recoger lo que hubiese escrito Aristóteles en su momento (si bien es verdad que muchos de estos eruditos continuaban siendo, en lo esencial, aristotélicos o platónicos), sino que se propusieron indagar en las fuentes, volver a los esquemas de racionalidad, de belleza y de virtud que provenían de la cultura clásica (Grecia y Roma) y que, a su juicio, habían quedado oscurecidos en la Edad Media. Los autores del Renacimiento querían volver *ad fontes*, a las fuentes del conocimiento, y por ello se esforzaron por analizar cuidadosamente los textos de los clásicos, desconfiando de las versiones que les habían llegado, principalmente a través de los monjes medievales. Así, Lorenzo Valla demostrará, tras un cuidadoso examen, que la *Donación de Constantino*, que se había atribuido al emperador Constantino y que en la Edad Media se venía utilizando para justificar el poder temporal de los Papas (los “Estados Pontificios”, que subsistieron hasta bien entrado el siglo XIX), era en realidad una falsificación de monjes del siglo IX, en tiempos de Carlomagno. El célebre estudioso holandés Desiderio Erasmo de Róterdam (1466/1469-1536) llevará a cabo una edición del Nuevo Testamento que será un referente durante siglos. En el siglo XVI, con el auge del humanismo, florecerán por toda Europa biblias políglotas (como la de Alcalá de Henares, financiada por el cardenal Cisneros, o la de Amberes, costeada por el rey Felipe II), en ese esfuerzo por ir a los textos originales y a partir de ellos establecer las conclusiones teológicas y filosóficas pertinentes.

Una personalidad tan indudablemente fascinante como la de Leonardo da Vinci (1452-1519), para muchos el genio más universal de todos los tiempos, se adelantará a Galileo Galilei (1564-1642) al estudiar la naturaleza dando prioridad a la observación directa de las plantas, los animales y las formas que en ella existen. La verdad sobre el funcionamiento de los seres naturales no tenía que buscarse, debió de pensar Leonardo, en los escritos de los antiguos filósofos griegos traducidos por los monjes medievales y guardados en sus exquisitas bibliotecas. “La verdad está ahí fuera”, como se repetía en la famosa serie televisiva “Expediente X”, y para encontrarla era necesario salir, abrir bien los ojos a lo que la naturaleza ofrecía a nuestros sentidos. Es así que Leonardo hizo innumerables dibujos esforzándose por representar de la manera más fidedigna posible el movimiento de las aves, las increíbles proporciones que se dan entre las distintas partes del cuerpo humano, los mecanismos que operan en todos los niveles... Pocas veces la inteligencia humana ha tenido una sed tan grande de conocimiento y a la vez tan insaciable como la que protagonizó Leonardo, que quedará para la posteridad como el ejemplo más vivo de ese deseo infinito de saber y de progresar que ha guiado nuestra historia y ha definido nuestras ansias más profundas. Leonardo llegó a escribir, anticipándose a Copérnico y en un genial alarde de buena intuición: “El Sol no se mueve (...) La Tierra no es el centro del círculo del Sol, ni el centro del Universo” (*Cuadernos I*, 310, 298). ¡Oh prodigiosa mente! El no astrónomo se había adelantado al astrónomo, como hiciera Leonardo en tantísimos otros campos del conocimiento. Leonardo, en su soledad, era capaz de lanzarse a la fascinante aventura de querer comprender todo el Universo.

La atmósfera propia del Renacimiento era, por tanto, la de un cierto cuestionamiento, sobre todo en las clases intelectuales, de la herencia recibida de la Edad Media. En el contexto de esta mentalidad crítica se puede entender la génesis de la ciencia moderna en los siglos XVI y XVII, y, claro está, la revolución que Copérnico llevó a cabo en el campo de la astronomía. Se miraba, sí, a la época griega, como en la Edad Media, en busca de inspiración, pero los pensadores de esta época miraban también a la naturaleza misma, al cielo y a los astros.

Además, el Renacimiento supuso para Europa una etapa de gran expansión económica y cultural. El Descubrimiento de América, y con anterioridad las expediciones al extremo oriente (que hicieron tan famoso al veneciano Marco Polo todavía en la Edad Media) abrirían nuevas rutas comerciales y favorecerían el desarrollo de técnicas más precisas en la navegación y de observación astronómica (imprescindible para fijar la posición de los barcos en las expediciones comerciales y militares). El régimen del feudalismo, preponderante en la Edad Media, daría paso, paulatinamente, a la economía de mercado, y el epicentro social y político se iría desplazando de las zonas rurales a las emergentes ciudades. El Renacimiento, por ejemplo, no se puede entender sin la importancia que tuvieron ciudades como Florencia o Roma, con grandes concentraciones de población y de clases intelectuales que podían intercambiar ideas y opiniones entre ellas con mayor facilidad.

2. La imprenta

Y otro hecho no menos relevante en el nacimiento de la mentalidad moderna y del espíritu científico es la invención de la *imprenta*, sin duda una de las creaciones que más han contribuido a la difusión del conocimiento. El alemán Johannes Gutenberg (1400-1468), que procedía de una familia burguesa de Maguncia, y del que desgraciadamente conservamos escasos datos biográficos, tuvo la genial idea de fabricar placas metálicas con la forma de las letras del alfabeto, y con tinta conseguía “imprimir” las figuras de esas letras en el papel. Es la base de la tipografía. La *Biblia de Gutenberg*, que apareció en 1455, marcaría una nueva etapa en la cultura occidental.

La imprenta marca un antes y un después. Antes de la imprenta, las obras tenían que ser copiadas manualmente, y, por lo general, los únicos que tenían tiempo, medios y formación (aunque esto no fuese tan imprescindible al fin y al cabo: suele decirse que el mejor copista es el que no sabe leer, porque así es más fiel a la hora de calcar lo que ve en los manuscritos y no se deja llevar por la intuición) eran los monjes. Gracias a ellos se preservaron las grandes obras de muchos pensadores griegos y árabes, pero la tarea de copiar los códices y los manuscritos era tan larga y tediosa que no es de extrañar que la difusión de los textos fuese extremadamente lenta. Esto hacía que el intercambio de conocimiento entre los estudiosos y eruditos fuese escaso, y además se redujese a ambientes monásticos. Y, más grave aún, muchos monjes sólo copiaban lo que verdaderamente les interesaba, y las obras que no les llamaban la atención o que sencillamente iban contra sus principios y planteamientos o no eran copiadas, o eran mutiladas y alteradas a conciencia por intereses ideológicos.

Con la imprenta, todo esto cambió. La reproducción de las obras era más fácil y fiable, y se podían hacer muchas copias de un mismo texto mecánicamente. Por eso, a finales del siglo XV y principios del XVI hubo una “explosión” de ideas, libros, movimientos, teorías y obras. La difusión del conocimiento creció exponencialmente. Sin la imprenta, es imposible explicar el éxito de la Reforma emprendida por el teólogo y sacerdote agustino alemán Martín Lutero (1483-1546), que publicó en 1517 sus 95 tesis en la puerta de la catedral de Wittenberg y que acabaría por sellar la división religiosa de Europa entre católicos y protestantes. Lutero publicó un sinnúmero de escritos que alcanzaron no sólo a los príncipes y a los sabios de la época, sino a las clases populares, que los leyeron de manera entusiasta. Pero tampoco es posible comprender sin la imprenta el éxito de la incipiente ciencia moderna. Copérnico, Kepler y Galileo “imprimieron” sus grandes obras, que ya no se limitaron a meros folletos distribuidos únicamente entre unos pocos entendidos, sino que llegaron a las masas y, como en el caso de Galileo, se convirtieron en auténticas obras de arte en el terreno de la literatura.

3. Un antes y un después

Todo lo anterior indica que el Renacimiento no sólo supuso fue relevante en la historia del Arte, con maestros que, como Miguel Ángel, Leonardo, Rafael o Donatello, legaron algunas de las creaciones más bellas de todos los tiempos; o en el campo de la literatura, con Dante, Petrarca o Boccaccio, sino en la historia del pensamiento, al inaugurar una nueva época que, poco a poco, fue abriendo paso a la modernidad, con la afirmación de la libertad individual, el cuestionamiento crítico de los hechos y de las tradiciones recibidas, el surgimiento de nuevos órdenes sociales y la emergencia de una mentalidad científica.

En definitiva, puede decirse que el mundo que le tocó vivir a Copérnico estaba marcado por profundas transformaciones que rompían con la época medieval en muchos aspectos de la vida. Se habían descubierto nuevos mundos que suscitaban no pocas preguntas sobre la naturaleza humana y sobre la Tierra; el conocimiento podía difundirse ahora con suma facilidad gracias a la imprenta; los artistas se fijaban en los cánones de belleza de Grecia y Roma; los textos eran estudiados con espíritu crítico; los filósofos y pensadores leían directamente a Platón y Aristóteles y no tanto los comentarios que los autores medievales habían hecho de sus libros y, lo que es más importante, el ser humano parecía querer preguntarle a la naturaleza para obtener respuestas.

Resumen

Las grandes contribuciones a la Ciencia y al pensamiento no surgen de la nada, sino que tienen lugar en un contexto histórico y cultural determinado que las hace posibles. En el caso de la revolución que supuso la obra de Copérnico sobre astronomía, es necesario tener en cuenta que la época (los siglos XV y XVI) se veía enormemente influida por una nueva sensibilidad, que rompía, en cierto modo, con la Edad Media: se trata del Renacimiento.

El Renacimiento subrayaba la centralidad del ser humano, y privilegiaba la observación directa de la naturaleza sobre la especulación filosófica. Además, en este momento surgieron inventos verdaderamente relevantes, como la imprenta, que permitió difundir las obras de los matemáticos y filósofos de la Antigüedad, y hacer más accesible el conocimiento, que dejaba de estar recluido a los monasterios para alcanzar a un público más amplio.

Acontecimientos como el Descubrimiento de América (1492), resultado de la búsqueda de nuevas rutas comerciales, dotaron a Europa de un inmenso potencial técnico y económico, inaugurando una etapa de crecimiento que duraría siglos.

Por otra parte, la Reforma de Martín Lutero significaría la división religiosa de Europa occidental entre católicos y protestantes, siendo también decisiva en la configuración de la Edad Moderna.

Palabras clave

Humanismo: doctrina filosófica y ética que afirma la centralidad del ser humano en la naturaleza y su autonomía. Adquiere auge en el contexto del Renacimiento.

Reforma: acontecimiento religioso en el seno del Cristianismo y que, protagonizado por Martín Lutero, Zuinglio y Calvino, rompía con la autoridad de la Iglesia de Roma y pretendía una vuelta al Evangelio por encima de tradiciones y jerarquías. Algunos de sus principios teológicos fundamentales serán la afirmación de la primacía de la Sagrada Escritura sobre la Tradición (*sola Scriptura*) o la justificación del hombre por la fe y no por las obras. Numerosas Iglesias y comunidades eclesiales actuales tienen sus orígenes en este movimiento del siglo XVI.

Renacimiento: movimiento cultural surgido en Italia que, en el ocaso de la Baja Edad Media, proponía una vuelta a los cánones artísticos del mundo clásico (Grecia y Roma). Frente al teocentrismo medieval, el Renacimiento preferirá la perspectiva antropocéntrica, siendo el ser humano el centro de su reflexión.

CAPÍTULO 3. “DIOS DIJO: ¡HÁGASE COPÉRNICO!”

1. Primeros años en Polonia.

Pocas cosas hay tan fascinantes en la vida humana como el nacimiento de un genio. Parece que una de las cosas mejor repartidas y más democráticas es el talento: no conoce lugares, tiempos o clases sociales. Uno puede nacer en una ilustre familia y ser un fracaso intelectual, personal y socialmente, como ha ocurrido en tantísimas ocasiones. Uno puede nacer en una etapa de gran efervescencia científica y cultural, donde las ideas bullen por doquier, y pasar como si nada. Uno puede nacer en un lugar donde el acceso a la información y al conocimiento sea sumamente asequible, y no aprovecharlo en absoluto. No se puede negar que la educación, el ambiente familiar o la época histórica influyan decisivamente, pero no es menos cierto que con frecuencia, y de repente, surgen seres excepcionales que, ellos solos, cambian la Historia y acaban ocupando un lugar escrito con letras de oro en ese relato tan hermoso que cuenta las hazañas de hombres y mujeres en su búsqueda de progreso y de superación. Justamente, gran parte de los avances sociales experimentados en las últimas décadas han consistido precisamente en fomentar la igualdad de oportunidades de todos, independientemente de su procedencia o de su nivel económico, para recibir la mejor educación posible.

El poeta inglés del siglo XVIII Alexander Pope compuso unos famosos versos sobre el gran físico y matemático británico Isaac Newton (1642-1727), para muchos el mayor científico de la Historia: *Nature and its laws lay hid in night. God said: “Let Newton be!”*, and all was light (“La naturaleza y sus leyes yacían ocultas en la oscuridad. Dios dijo: “¡hágase Newton”!, y todo fue luz”). Y es que, en efecto, lo que durante siglos había intrigado a la Humanidad, encontró una respuesta gracias al genio de Newton. La oscuridad de la ignorancia abrió paso a la luminosidad de la inteligencia, capaz ahora de comprender las leyes del movimiento, las mismas para los objetos terrestres que para los espacios siderales. Algo similar podría decirse de Copérnico. Durante siglos, y con honrosas excepciones, el ser humano había concebido un cosmos con la Tierra en su centro y los demás cuerpos celestes, el Sol incluido, dando vueltas en torno a nuestro planeta. Era la mentalidad común, el sentir general, algo que se tomaba como certero y seguro y que pocos (sin duda por falta de evidencias y de observaciones experimentales) se atrevían a cuestionar, porque además se mostraba como la postura más sensata. Era perfectamente lógico pensar que la Tierra permanecía inmóvil y que eran los otros cuerpos celestes los que giraban a su alrededor, porque no tenemos sensación de “desplazarnos”, como cabría suponer si fuese la Tierra la que realmente diese vueltas en torno al Sol. Había que tener un espíritu bastante revolucionario para sugerir lo contrario. Y Copérnico lo tuvo.

Además, Copérnico tuvo la inmensa fortuna de nacer en un tiempo de gran

efervescencia y vitalidad científicas. Como escribe el eminente historiador Will Durant en el capítulo que dedica Copérnico en su libro *The Reformation* (1957).

“Avances matemáticos que ahora nos pueden parecer triviales mejoraron las herramientas de cálculo de la época. La *Aritmethica integra* (1544) de Michael Stifel introdujo nuestros signos para más y menos, y el *Whetstone of Wit* (1557) de Robert Recorde utilizó, por primera vez en la imprenta, nuestros signos para igual. La entonces famosa aritmética de Adam Riese hizo que Alemania pasase de contar con ábacos a cómputos escritos. Johannes Werner publicó (1522) el primer tratado moderno sobre las figuras cónicas; y Georg Reticus, además de servir como “matrona” de Copérnico, prosiguió el trabajo de Regiomontanus sobre trigonometría. La astronomía disponía de mejores cálculos que instrumentos. En la base de estos cálculos, algunos astrólogos predijeron un segundo Diluvio para el día 11 de febrero de 1524m cuando Júpiter y Saturno se uniesen en Piscis. A causa de ello, Toulouse construyó un barracón para refugiarse, y las familias más precavidas almacenaron comida en cuevas en la montaña. La mayoría de los instrumentos astronómicos tenían origen medieval: esferas celestes y terrestres, la vara de Jacob [empleada para medir alturas], un astrolabio (...), cuadrantes, cilindros, relojes, compases y muchos otros aparatos, pero ningún tipo de telescopio o de fotografía. Y con este equipamiento, Copérnico movió la Tierra”.

En efecto, con un instrumental tan simple, y a la espera del telescopio (que llegaría más de medio siglo después de la muerte de Copérnico, a principios del siglo XVII, y que tan famoso haría a Galileo Galilei), Copérnico desplazó la Tierra del lugar en el que la mente humana la había situado durante siglos y siglos. En una etapa, la de la transición entre la Edad Media y la modernidad, de importantes cambios culturales, sociales y científicos, Copérnico iba a hacer historia.

Niklas Koppernigk, nombre que, latinizado, adopta la forma de *Nicolaus*

Copernicus, nació el 19 de febrero de 1473 en Torún, a orillas del río Vístula, en el seno de una familia polaca de origen germano, que probablemente había emigrado de la zona de Silesia. La región era, a mediados del siglo XV, una verdadera zona de tránsito, ya que comunicaba la Europa occidental y las actuales Hungría y República Checa con el Mar Báltico, siendo por tanto un lugar de importancia estratégica en lo militar y en lo comercial, un crisol cultural y económico que había atraído a órdenes tan importantes como la de los Caballeros Teutónicos. No entraremos aquí en el debate sobre la nacionalidad de Copérnico, ante todo porque el concepto de “nacionalidad”, hoy tan esgrimido, no jugaba un papel importante como ahora nos parece. ¿Fue Copérnico polaco o alemán? Los alemanes argumentan que la madre de Copérnico era, seguramente, de origen alemán, y que la lengua materna de Copérnico era el alemán y no el polaco antiguo. Pero esto es muy difícil de verificar, y además Copérnico, como las personas cultas de su tiempo, escribía en latín, por lo que no nos queda mucha constancia de su manejo en alemán o en polaco. Y un hecho innegable es que Copérnico vivió la mayor parte de su vida en territorio de Prusia, y que por tanto era un súbdito del

rey de Polonia, y no es de extrañar que, por esta razón, enciclopedias tan acreditadas como la *Enciclopedia Británica* lo consideren polaco.

En todo caso, y como escribe el astrofísico británico Fred Hoyle (uno de los impulsores de la teoría del “estado estacionario”, que en su momento pretendió ser una alternativa al *Big Bang* como hipótesis cosmológica sobre el surgimiento y la evolución del Universo) en un ensayo clásico sobre Copérnico, “un estilo de vida tan abierto difícilmente podía dejar de influir en Copérnico. Nacer en una era de libre movimiento de gentes y pueblos era una ventaja a la hora de adquirir una mentalidad sin prejuicios, a menos que las conmociones sociales y demográficas sean tan violentas que la pura supervivencia física se convierta en el problema principal. Copérnico fue doblemente afortunado en este sentido: adquirió independencia de miras, a la vez que disfrutó de la seguridad de una familia estable” (*Nicolás Copérnico. Un ensayo sobre su vida y su obra*, Alianza, 1976, p. 138).

Su padre, también llamado Niklas, se dedicaba al comercio y poseía una considerable riqueza, aunque falleció cuando Copérnico sólo tenía 10 años. La educación de Copérnico corrió a cargo, en gran medida, de su tío Lucas Watzenrode, hermano de su hermana Bárbara, quienes también provenían de una acaudalada familia. Consta que Copérnico tuvo un hermano (Andreas, que entraría en la Orden de los agustinos) y dos hermanas (Bárbara, que se haría monja benedictina, y Katharina, que se casaría con un influyente hombre de negocios). Puesto que Copérnico tampoco se casó (aunque nunca se ordenó sacerdote), está claro que la familia de los Koppernigk no tuvo, que se diga, mucha descendencia.

Un hecho clave en la vida de Copérnico sería el nombramiento de su tío Lucas Watzenrode como príncipe-obispo de Warmia. La elección fue sumamente polémica, porque se realizó en un tiempo récord para mantener la autonomía de la diócesis de Warmia frente a injerencias externas. En cualquier caso, los procedimientos poco transparentes que llevaron a Watzenrode a una posición religiosa y política tan destacada le perseguirían durante años y alcanzarían también al propio Copérnico. Pero lo cierto es que los abundantes medios financieros de su tío le facilitaron mucho las cosas a Copérnico. Con la protección de Watzenrode, Copérnico pudo dedicarse tranquilamente a estudiar, a viajar por media Europa en busca de los mejores maestros, y más tarde a observar el movimiento de los astros y escribir las teorías que le harían tan famoso de cara a la posteridad. Difícilmente se logra ser algo en esta vida, y sobre todo en el terreno académico e intelectual, sin apoyos económicos, sin mecenas. Si uno carece de recursos suficientes, tiene que solicitar becas a instituciones públicas o privadas, pero al fin y al cabo se ve obligado a pedir ayuda económica para subvencionar su formación y poder viajar al extranjero. Y la concesión de estas ayudas no es siempre justa e imparcial, como cabría esperar. Copérnico tuvo la fortuna de disfrutar de una fuente casi inagotable de recursos, su influyente tío, y al menos en este caso fue para bien de la Ciencia.

Así que en 1491, y seguramente aconsejado por su tío el obispo de Warmia, Copérnico se traslada a Cracovia, una de las ciudades más florecientes de Polonia por aquel entonces y también en la actualidad (entre los personajes ilustres ligados de una u otra forma a Cracovia destaca, sin duda, la figura de Karol Wojtila, que era cardenal-arzobispo de esta urbe polaca cuando fue elegido, en 1978, Obispo de Roma y Papa, tomando el nombre de Juan Pablo II), matriculándose en la Academia de Cracovia, que con los años se acabaría convirtiendo en lo que ahora se conoce como Universidad Jagelloniana.

Los historiadores suelen estar de acuerdo a la hora de afirmar que en esta universidad Copérnico trabó contacto con el astrónomo Albert Brudzewski, discípulo de uno de los matemáticos más relevantes del siglo XV, Johannes Müller (1436-1476), apodado el “Regiomontano” (por ser originario de *Königsberg*, la “montaña del rey”, al igual que el filósofo alemán del siglo XVIII Immanuel Kant, la actual ciudad rusa de Kalliningrado, en la antigua Prusia oriental). Müller, a su vez, había estudiado con el astrónomo Georg Puerbach (1423-1461) en Viena, que era autor de un libro titulado *Epitome in Ptolomei Almagestum*, una especie de comentario a la célebre obra de Claudio Tolomeo. Cabe sostener, como por ejemplo hace Fred Hoyle, que Copérnico hubiese conocido a fondo desde sus primeros años en la universidad los pormenores del modelo geocéntrico de Tolomeo, y que estuviese al corriente de las discusiones que generaba en la época.

Lo cierto es que Copérnico debió de sentirse completamente fascinado por la astronomía, y se afaná por reunir algunas de las obras más importantes en esta materia, así como los instrumentos disponibles entonces para la observación astronómica. Claro que, *a posteriori*, esos instrumentos nos parecerán muy rudimentarios y atrasados, pero no podemos olvidar que el telescopio no se inventará hasta principios del siglo XVII, y que el primero en utilizarlo con buenos resultados en astronomía será Galileo, creando una verdadera revolución al ver lo que, probablemente, nadie antes que él había visto. En cualquier caso, la biblioteca de Copérnico fue tomada como botín de guerra por las tropas suecas, y a día de hoy se conserva en la Universidad de Uppsala, la de mayor tradición de Suecia.

2. Copérnico en Italia

Copérnico pasó cuatro años en Cracovia, y al término de esta estancia en Polonia, viajó al epicentro cultural de Europa: Italia, la cuna y la cima del Renacimiento. Al igual que la gente de nuestros días se afana por conseguir becas de estudios que les lleven a las universidades más prestigiosas de Estados Unidos, como Harvard, Yale, Standford o el MIT, o del Reino Unido (Oxford y Cambridge), en tiempos de Copérnico, si había un lugar que destacase por su altura intelectual y académica, ése era sin duda Italia.

Así que Copérnico acudió a las universidades de Padua y de Bolonia. Se cuenta que atravesó, junto con su hermano Andreas (que llegaría a ser, como Copérnico, canónigo en Frombork), los Alpes a pie, una gesta no menos impactante que la del general cartaginés Aníbal cruzándolos a lomos de un ejército de elefantes. Copérnico se matriculó en derecho y en medicina. Bolonia es una de las universidades más antiguas de Europa, y sin duda uno de los centros punteros en el derecho (especialmente en el derecho canónico, el sistema jurídico propio de la Iglesia Católica), en la que actualmente regenta una cátedra de semiótica el famoso escritor italiano Umberto Eco. Hoy nos llamará fuertemente la atención esa inusual mezcla de ciencias, humanidades, artes y disciplinas técnicas que estudiaban los que en esa época tenían la suerte de ir a la universidad (por desgracia, muy pocos y casi siempre exclusivamente varones), pero la cultura renacentista privilegiaba, ante todo, el modelo de *uomo universale*, el aprendizaje enciclopédico que abarcase todas las ramas del saber. El ideal de hombre renacentista implicaba ser al mismo tiempo un artista, un pensador, un político y un observador de la naturaleza. No había divisiones o fracturas tan marcadas como existen ahora.

Lógicamente, el desarrollo de las ciencias en ese momento era muy rudimentario, y una sola persona, leyendo unos cuantos libros, podía abarcar toda la matemática o todo lo que se conocía sobre derecho, historia o medicina, cosa que hoy sería lisa y llanamente imposible y cuanto menos utópico. Aristóteles (384-322 antes de Cristo) había escrito, él solo, una obra que incluía escritos sobre campos tan diversos como la metafísica, la lógica, la física, la astronomía, la biología, la medicina, la economía o la filosofía de la naturaleza, y su obra estuvo en la mayoría de los planes de estudios universitarios hasta prácticamente el siglo XVII (cuando fue dejando paso a la filosofía moderna, con Descartes a la cabeza). En el siglo XVIII, ciencias como la física o la química todavía seguían incluyéndose dentro de la denominación genérica de “filosofía” (Newton tituló su principal libro, para muchos el más importante de la historia de la Ciencia, *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, de 1687, “Principios matemáticos de la filosofía natural”, y, claro está, por “filosofía natural” se refería a la física). Este aspecto hay que tenerlo en cuenta no sólo a la hora de analizar la evolución y el progreso de las ciencias experimentales, sino, más aún, cuando se pretende entender los cambios de pensamiento y de ideas que ha experimentado la Humanidad en los últimos siglos. Y es que en tiempos de Copérnico no había una frontera bien definida entre lo que era ciencia, lo que era filosofía y lo que era teología. Los métodos de cada disciplina no estaban del todo clarificados, lo que a la larga llevó confusiones de tanta trascendencia como las disputas religiosas, científicas e incluso políticas sobre el heliocentrismo, que en el siglo XVII provocarían la famosa condena a Galileo Galilei por parte de un tribunal de la Iglesia Católica. Hoy hemos aprendido a distinguir cada campo y cada método; cuál es su alcance y cuáles son sus límites; cómo un teólogo no debe dar lecciones de ciencia a un científico y un científico lecciones de teología a un teólogo, sino dialogar entre sí, pero en otros siglos esto no era aceptado por todos.

Copérnico aprovechó muy bien su estancia en Italia. Su tío, el obispo Watzrenrode, quería, como era de suponer, que su sobrino recibiese en un futuro la misma dignidad episcopal de la que él ahora disfrutaba (un ejemplo de la práctica del *nepotismo*: los tíos con altos cargos eclesiásticos concedían a sus sobrinos posiciones importantes, algo muy típico entre los papas del siglo XVI y XVII, que hacían cardenales a muchos de sus sobrinos –*nepoti* en italiano), para lo que resultaba especialmente útil haber estudiado derecho canónico y así ser un buen administrador diocesano, pero entre los planes de Watzrenrode y el futuro de Copérnico se interpuso algo mucho más fascinante que esas ambiciones: la Ciencia. Copérnico conoció al astrónomo Domenico Maria Novara da Ferrara, que debió de causar una honda impresión en nuestro genio polaco. La Historia nos ha transmitido experiencias similares de huellas profundas dejadas por maestros sobre sus discípulos, que acabarían determinando la carrera de estos últimos. No se puede comprender la obra de Platón sin antes entender la vida y el pensamiento de Sócrates, o la de Aristóteles sin la de Platón. Copérnico empezó a trabajar como ayudante de Novara, y muchos de los datos que obtuvo entonces serían sumamente valiosos para su posterior teoría astronómica.

Gracias al papel de su tío, Copérnico fue nombrado canónigo de Frauenburg (*Frombork*), como también lo sería ligeramente más tarde su hermano Andreas, quien sin embargo falleció poco después. Una canonjía era un auténtico regalo en aquella época. Ser canónigo permitía recibir una suculenta renta a modo de pensión que, de un modo u otro, le “solucionaba” la vida, al menos en lo económico, a Copérnico, y que le daría una gran libertad para poder dedicarse a sus observaciones y estudios astronómicos. Los profesionales de las ciencias no trabajaban, como ahora, en universidades o en institutos de investigación, y muchos de ellos desempeñaban cargos eclesiásticos. Copérnico estaba en Italia cuando tuvo noticia de su nombramiento, pero prefirió quedarse en Italia hasta que terminase el Jubileo de 1500 (los jubileos habían sido instituidos por el Papa Bonifacio VIII a finales del siglo XIII) que tenía lugar en Roma. Su viaje a Roma le dio también la posibilidad de observar el eclipse lunar que se produjo el 6 de noviembre de 1500. En 1501 sí fue, finalmente, a Frauenburg, suponemos que para hacer efectivo su nombramiento como canónigo de la catedral de esta ciudad, pero enseguida lo vemos regresando a Italia para completar su doctorado en derecho canónico en la universidad de Ferrara, donde obtuvo el título en 1503.

Con un doctorado en su haber y una formación extraordinariamente amplia en todos los sentidos, Copérnico marchó a su Polonia natal, donde alumbraría la teoría sobre el Universo que tan famoso le haría a ojos de la Historia. Eso sí: la generosa ayuda que le había brindado Watzrenrode terminó pasándole factura en forma de servicios, y Copérnico tuvo que hacer las veces de secretario, economista y médico de su ilustre tío. La faceta de Copérnico como economista es particularmente interesante, porque Copérnico escribió un folleto en 1526 titulado *Monetae Cudendae Ratio* en el que proponía una teoría sobre el valor del dinero en la que se adelantaba en varias décadas al inglés Thomas Gresham en la distinción entre el dinero bueno y el malo. Copérnico el científico, sí, pero también Copérnico el economista, el administrador, el

canónigo e incluso el diplomático que trabajó a las órdenes de su tío el obispo de Warmia, del Duque Alberto de Prusia y del rey polaco Segismundo I. Y, por si fuera poco, también tuvo sus andaduras como militar, al supervisar la defensa del castillo de Olsztyn (o Allenstein) cuando fue asediado por las tropas de Hohenzollern, Gran Maestro de la Orden de los Caballeros Teutónicos, participando también en las conversaciones de paz entre Polonia y la Orden Teutónica en Braunsberg en 1519 (aunque, desafortunadamente, Copérnico no tuvo aquí el éxito deseado en esa faceta diplomática). Nuevamente, el prototipo de hombre renacentista.

Resumen

Nicolás Copérnico nació el 19 de febrero de 1473 en la ciudad polaca de Torún Su padre era un rico comerciante que murió cuando Copérnico tenía 10 años. Su tío materno, Lucas Watzenrode, llegaría a ser obispo de la diócesis de Warmia, lo que proporcionaría a Copérnico protección y mecenazgo durante gran parte de su vida.

Copérnico estudió en la Academia de Cracovia y posteriormente viajó a Italia, cuna del Renacimiento y epicentro cultural de aquel tiempo, donde estudiaría Derecho y Medicina en las universidades de Bolonia y Padua. En Italia conocería al astrónomo Domenico Maria de Novara, que causó en él una honda impresión. Cuando su tío ascendió al cargo de obispo de Warmia, Copérnico fue nombrado canónigo, cargo que le otorgaría una gran seguridad económica. En 1503 obtuvo el doctorado en Derecho Canónico por la Universidad de Ferrara.

Además de dedicarse a la astronomía, Copérnico escribió sobre reforma monetaria, y participó en operaciones militares y diplomáticas.

Palabras clave

Canónigo: Miembro del capítulo de una catedral. Copérnico fue canónigo aun sin ser sacerdote, ya que se trata de un cargo jurídico, no sacramental.

Derecho Canónico: Conjunto de normas que rigen en la Iglesia Católica. Aunque, formalmente, el primero Código de Derecho Canónico data de 1917, durante la Edad Media se hicieron amplias compilaciones de leyes eclesiásticas.

Mecenas: Persona que pone su influencia y sus recursos económicos a disposición del cultivo de las artes y las ciencias.

Método científico: procedimientos que, conjugando observación experimental y razonamiento teórico, llevan a la formulación de hipótesis para tratar de explicar los fenómenos naturales.

Obispo: Cabeza de la Iglesia en una determinada diócesis.

CAPÍTULO 4. ¿Y SI LA TIERRA NO FUERA EL CENTRO DEL UNIVERSO? EL *COMMENTARIOLUS*

1. Un manuscrito innovador

En un pequeño manuscrito que se difundió asombrosamente rápido por toda Europa, titulado *Commentariolus* (el nombre completo era *De hypothesibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus*), Copérnico dio a conocer a sus allegados los fundamentos de la teoría que habría de hacerle tan famoso: el heliocentrismo. Fred Hoyle defiende que Copérnico habría redactado este breve opúsculo en 1533, quizás para Johann Widmandstadt, secretario del Papa y que había dado una serie de conferencias en Roma en las que explicaba las ideas copernicanas. Otros autores, sin embargo, sitúan el *Commentariolus* mucho antes, en torno a 1514. Por ejemplo, García Hourcade, en *La rebelión de los astrónomos: de Copérnico a Kepler*, cita el hecho de que Copérnico fuese convocado al V concilio de Letrán, que tuvo lugar entre 1512 y 1517, como perito para hacerle consultas sobre la reforma del calendario (que finalmente no se acometería hasta 1582, siendo Papa Gregorio XIII, en el origen de nuestro actual calendario, el “gregoriano”, con la colaboración de los prestigiosos matemáticos Aloysius Lilius y el jesuita alemán Christopher Clavius, para corregir los desfases que conllevaba el calendario vigente desde los tiempos de Julio César, y que no se adecuaba a la duración real del año solar medio), como posible prueba de que el *Commentariolus* hubiese sido escrito ya en la época de ese concilio. El obispo de Fossombrone había nombrado a Copérnico miembro de una comisión consultora sobre la reforma del calendario, y, como escribe García Hourcade, “¿cómo entender que se solicite la opinión de alguien que oficialmente no era sino un canónigo y que se dedicaba a ejercer de secretario y consejero de su tío”?

Para entender las teorías de Copérnico expresadas en el *Commentariolus*, es imprescindible recordar los fundamentos del geocentrismo de Claudio Tolomeo.

El modelo geocéntrico concebía un cosmos con la Tierra en su centro. El Sol y otros astros daban vueltas en torno a la Tierra. Grandes culturas de la antigüedad, como la griega y la china, habían sostenido esta imagen de mundo, aunque ya en su momento se alzaban no pocas voces que cuestionasen algunos de sus principios.

Lo cierto es que, *a posteriori*, milenios más tarde, cuando la Humanidad ha sido capaz de viajar al espacio y de observar la Tierra desde el exterior (una proeza con la que seguramente había soñado el género humano desde tiempos inmemoriales), es muy fácil criticar o incluso ridiculizar la teoría geocéntrica. Pero uno lo piensa más detenidamente y analiza el modelo geocéntrico en detalle, quizás advierta que esta teoría no era, al fin y al cabo, tan absurda como puede resultar hoy.

Para empezar, es de todos conocido que el Sol sale por el Este (el Oriente, donde “nace” el Sol) y se pone por el Oeste (Occidente). Es algo que ocurre cada día, y que ha marcado profundamente la mentalidad de muchas civilizaciones. Para los egipcios, por ejemplo, la orilla oriental (orilla este) del río Nilo era la orilla de los vivos: en ella se alzaban grandes ciudades suyas como Tebas, con los imponentes templos de Luxor y Karnak. La orilla occidental, por la que se pone el Sol, era la orilla de los muertos, y por eso grandes complejos funerarios como el Valle de los Reyes se ubicaban a oeste del río Nilo. El Sol recorría diariamente el camino que va desde el Este hasta el Oeste, de los vivos a los muertos. Osiris, dios de los muertos, era llamado *Wsir khenti imentiu*, “Osiris, el que está al frente de los occidentales”, esto es, de los muertos.

¿Cómo explicar que el Sol pase diariamente del Este al Oeste? Lo más sensato a simple vista es suponer que el Sol gira alrededor de la Tierra. Además, otra experiencia común es que la Tierra se nos muestra como una superficie sólida. Si la Tierra se moviese, también nosotros nos moveríamos con ella, pero no sentimos ni notamos nada. Nuevamente, lo sensato es pensar que la Tierra está en reposo, inmóvil, y que todo lo demás orbita en torno a ella, aunque sea circular (muy pocos en la antigüedad clásica, griega y romana, creyeron, de hecho, que la Tierra fuese plana).

No sólo estrellas como el Sol, sino que la Luna y los planetas también giraban diariamente en torno a la Tierra de Este a Oeste. Los planetas descubiertos hasta el siglo XVI eran Mercurio, Venus, Marte, Júpiter y Saturno, pero sus trayectorias eran bastante extrañas. Parecían avanzar y retroceder de vez en cuando. Marte, por ejemplo, en lugar de ir siempre de Oeste a Este, llegado un momento iba de Este a Oeste, en lo que se comenzó a llamar “movimiento de retrogradación” (por “retrogradarse”, esto es, dar la vuelta), que también afectaba a Júpiter y a Saturno.

2. El universo geocéntrico

¿Cómo explicar este comportamiento tan sumamente anómalo? Tolomeo, sin duda un gran geómetra, imaginaba que los planetas se movían describiendo trayectorias circulares (este punto lo aceptará Copérnico: hasta Johannes Kepler, en el siglo XVII, no se admitirán órbitas elípticas, porque para los griegos y para Copérnico la circunferencia era el símbolo de la perfección, y lo lógico era creer que los movimientos planetarios seguían la órbita más perfecta y acabada, la circular), y el centro de esa circunferencia describía otra circunferencia más grande de Oeste a Este, alrededor de la Tierra. En el círculo más pequeño, el planeta se movería de Este a Oeste y no de Oeste a Este, lo que causaría ese fenómeno tan complejo de la retrogradación. ¡Una explicación nada sencilla! Tolomeo había tenido que suponer que existían circunferencias dentro de otras circunferencias para justificar una observación empírica innegable (y los experimentos siempre tienen la última palabra en la Ciencia).

En el universo de Tolomeo, la Tierra ocupaba el centro y la rodeaban ocho esferas: la de la Luna, la de Mercurio, la de Venus, la del Sol, la de Marte, la de Júpiter, la de Saturno y la de las estrellas fijas. Como hemos señalado, cada esfera tenía “sub-

esferas”, una de ellas rotando en torno a la Tierra y otra (el epiciclo) rotando de esa primera circunferencia.

Tolomeo publicó su libro más importante, el *Almagesto*, a mediados del siglo II después de Cristo en Alejandría, pero conforme los siglos avanzaron y los astrónomos fueron acumulando nuevos datos y nuevas observaciones, la cosa se iba complicando muchísimo. Los “discípulos” de Tolomeo tuvieron que añadir más y más circunferencias, hasta que el modelo geocéntrico resultó terriblemente arduo de manejar, casi intratable. Era una especie de “monstruo” matemático, y a personas como Copérnico les debió de venir a la cabeza esa célebre frase del monje franciscano inglés del siglo XIV Guillermo de Ockham: *Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem*, “no hay que multiplicar los entes más allá de lo necesario”, o lo que es lo mismo: es siempre preferible la explicación más sencilla de un fenómeno, la que sea capaz de explicarlo haciendo el menor número posible de suposiciones.

Tolomeo fue un genial astrónomo. Su *Almagesto* reunía, unificaba y superaba siglos de astronomía. Todo lo que los grandes astrónomos griegos y anteriores habían aportado a la configuración de una imagen del Universo había sido integrado por Tolomeo en un modelo coherente y riguroso.

Tolomeo sostenía que la Tierra estaba en el centro del Universo. Y es que, en efecto, argumentaba él, la mitad de las estrellas se observan por encima del horizonte, y la otra mitad por debajo del horizonte, por lo que, necesariamente, la Tierra tiene que ser el centro del Universo, ya que lo “divide” en dos en todo momento. Además, aquí había otras razones de peso “psicológico”. El ser humano tiene conciencia de ser algo único, específico y distinto. Con su inteligencia es capaz de dominar el mundo y a los restantes seres vivos que lo habitan. Con su inteligencia escribe libros, construye monumentos grandiosos y mira a las estrellas. ¿No hay algo peculiarísimo y espectacular que posee el ser humano y nadie más en el Universo, y que por tanto le confiere esa centralidad dentro del Cosmos? Para ser preciosos, sin embargo, hay que decir que, geoméricamente, las circunferencias eran ligeramente excéntricas a la Tierra, que ocupaba un centro al ideal que se “salían” (*ex centrum*, “desde el centro”) esas trayectorias circulares.

La teoría de Tolomeo se impuso hasta dominar todo el panorama intelectual de Occidente durante siglos. Sólo unos pocos, entre ellos Aristarco de Samos y su seguidor Seleuco de Seleucia, se habían atrevido a proponer un modelo competitivo que afirmase que era el Sol y no la Tierra el centro del Universo.

3. Una nueva hipótesis: el heliocentrismo y el movimiento de retrogradación de los planetas.

Pocos hasta Copérnico. En el mencionado *Commentariolus*, que había distribuido anónimamente, y que no se logró editar hasta 1878, Copérnico ofrecía siete axiomas a modo de pilares de su nuevo modelo cosmológico:

- 1) No hay un único centro de todos los círculos celestes o esferas.
- 2) El centro de la Tierra no es el centro del Universo, sino tan sólo de la gravedad y de la esfera lunar.
- 3) Todas las esferas [entiéndase planetas] dan vueltas alrededor del Sol como su centro, y por tanto, el Sol es el centro del Universo.
- 4) La razón de la distancia de la Tierra desde el Sol a la altura de firmamento es tanto más pequeña que la razón del radio de la Tierra a su distancia desde el Sol, que la distancia de la Tierra al Sol es imperceptible en comparación con la altura del firmamento.
- 5) Cualquier movimiento que aparece en el firmamento surge no a causa del movimiento del firmamento, sino por el movimiento de la Tierra. La Tierra junto con sus elementos circundantes efectúa una rotación completa sobre sus polos fijos en un movimiento diario, mientras que el firmamento y el cielo superior permanecen sin cambio.
- 6) Lo que aparentemente se nos muestran como movimientos solares se deben no a su movimiento sino al movimiento de la Tierra y de nuestra esfera, en virtud del cual damos vueltas alrededor del Sol como cualquier otro planeta.
- 7) La retrogradación aparente y el movimiento directo de los planetas surge no a causa de su movimiento, sino del movimiento de la Tierra. El movimiento de la Tierra por sí solo, es, en consecuencia, suficiente para explicar tantas desigualdades aparentes en los cielos.

(texto del *Commentariolus*, citado por Will Durant, *The Reformation*, 1957, 858).

¡Copérnico explicaba, por fin, el movimiento de retrogradación de los planetas! En efecto, como indica el axioma séptimo, si suponemos que la Tierra se mueve en torno al Sol, ese fenómeno queda perfectamente justificado. Si tanto la Tierra como Marte se desplazasen alrededor del Sol, y si la Tierra se moviese más rápido que Marte, llegaría un momento en que la Tierra adelantaría a Marte, por lo que entonces nos parecería que Marte cambiaba el sentido de su trayectoria y que daba marcha atrás. ¡Todo encajaba! Y, además, con un modelo matemático más sencillo, porque no hacía falta utilizar los complicados conjuntos de epiciclos y deferentes que había empleado Tolomeo para los movimientos de los planetas, que daban la sensación de cambiar

constantemente de rumbo, hasta el punto de que el término *planeta* en griego significa “errante”.

Y no sólo eso. La propuesta de Copérnico trascendía lo puramente científico o astronómico para convertirse en una auténtica tormenta sociológica, filosófica y teológica. En el punto o “axioma” leemos que la Tierra da vueltas alrededor del Sol “como cualquier otro planeta”. Esta equiparación cosmológica de la Tierra a los demás cuerpos errantes (los planetas) traería, a la larga, profundas consecuencias en la comprensión que el ser humano tiene de sí mismo y de su lugar en el Universo. La simbiosis entre el modelo geocéntrico y la teología de los Padres de la Iglesia y de los escolásticos medievales había sido casi perfecta: el hombre, culmen y centro de la Creación, residía justamente en el centro del Universo. Todo estaba orientado a él, como todo gira alrededor de la Tierra. Sobre la Tierra, el cielo, bajo ella, el infierno. La imagen geocéntrica del Universo parecía encajar plenamente con la imaginación popular y con el esquema teológico de grandes maestros, como San Agustín de Hipona (354-430) y Santo Tomás de Aquino (1225-1274). Santo Tomás, en su monumental *Summa Theologica*, que no pudo acabar, había concebido la realidad como un proceso de salida y de regreso desde Dios y hacia Dios: todo venía de Dios y a Él se dirigía, en un gigantesco *exitus-reditus*. Y en el centro de ese movimiento metafísico de todas las criaturas hacia su Creador, aparecía el ser humano, la “imagen y semejanza” de Dios (como leemos en el primer capítulo del libro del *Génesis*).

La obra científica de Copérnico obligaba a cambiar esta imagen. La centralidad del hombre en el Universo no podía verse ya en términos físicos o cosmológicos, sino desde otra óptica: el hombre es centro de la Creación porque con su mente y con su pensamiento es capaz de idear, concebir y descubrir. La subjetividad humana tomará, a partir del siglo XVI, el testigo a la objetividad cósmica en la historia de la Filosofía. El hombre es central por ser un sujeto, un *yo*, que piensa y actúa, transformándose a sí mismo y al mundo que le rodea. La filosofía se hará cada vez más antropológica y menos cosmológica, porque en el Cosmos, el hombre vive en n planeta más (Copérnico) perdido entre el sinnúmero de cuerpos celestes, y en la propia Tierra, el hombre ha surgido recientemente y no ha sido una excepción a los procesos evolutivos que han afectado a las demás especies (Darwin). Es, por tanto, evidente, que la teoría de Copérnico era más que una simple hipótesis científica. Aún hoy seguimos diciendo que el Sol “sale” y se “pone”, aunque sepamos que esto no es exacto, porque las mentalidades, máxime cuando se basan en experiencias comunes y cotidianas, no son fáciles de cambiar. Pero nadie puede negar que los avances científicos, como los protagonizados por Copérnico y por la revolución que inauguró, acaban, finalmente, modificando nuestra manera de contemplar el mundo y de vernos a nosotros mismos.

Aunque Copérnico, en un principio, se había limitado a difundir su teoría en círculos reducidos (seguramente por miedo a las críticas procedentes de otros científicos, temor que también albergaría Isaac Newton en el siglo XVII), las noticias de su hipótesis revolucionaria pronto llegaron a ilustres personalidades de la época, como

el arzobispo de Capua Nicolás Schönberg, quien en una carta al astrónomo polaco le urgía a “comunicar vuestro descubrimiento a los eruditos, y en cuanto os sea posible a enviarme vuestros escritos sobre la esfera del universo junto con las tablas y todo lo que tengáis de relevancia en este asunto”, ya que “habiendo escuchado, desde algunos años, unánimes y repetidas alabanzas a vuestros merecimientos, comencé a teneros en la más alta estima y felicitar a nuestros contemporáneos, entre los cuales recibís tanta gloria. Y llegué a descubrir que no sólo domináis admirablemente los descubrimientos de los matemáticos antiguos, sino que habéis llegado a establecer una nueva constitución del mundo, con la que enseñáis que la Tierra se mueve y que el Sol ocupa el lugar más bajo del Universo, esto es, el centro”. ¡Qué contraste con lo que ocurrirá aproximadamente un siglo después, cuando Galileo tenga que abjurar del heliocentrismo ante la Inquisición romana por considerarla “absurda, filosóficamente falsa y formalmente herética, por ser contraria a la Sagrada Escritura”! Y es que el concepto de Sagrada Escritura que se tenía en esa época era enormemente limitado: una lectura literalista y fundamentalista de los textos, pensando que eran libros de historia natural o de física matemática, en lugar de tratarlos simplemente como escritos religiosos, redactados en tiempos pasados según la mentalidad de entonces.

Tenemos que pensar que las sospechas que más tarde suscitará el heliocentrismo copernicano, esto es, la teoría que sostenía que la Tierra giraba en torno al Sol y no al revés, sólo se agudizarán con Galileo, ya entrado el siglo XVII, y que Copérnico no tenía por qué prever una reacción negativa de los papas y de los cardenales con respecto a su obra científica. De hecho, un científico y eclesiástico tan importante como el obispo francés Nicolás de Oresme, en el siglo XIV, había discutido ya la posibilidad de que la Tierra se moviese en lugar de permanecer inmóvil en el centro del Universo. Los problemas políticos y religiosos que se harán patente en tiempos de Galileo aún no estaban en su punto álgido, ya que no será hasta entonces cuando se plantee con todo su dramatismo la necesidad de distinguir planos del conocimiento: el científico-experimental, el filosófico y el teológico. Galileo vivió en sus propias carnes las dificultades que esta distinción, que hoy nos parece tan lógica, acarrea para los hombres y mujeres de aquellos siglos.

Copérnico era célebre en los círculos académicos de Europa. El Papa Clemente VII (el mismo que había contemplado con estupor -¡y con riesgo para su propia vida de no ser por la guardia suiza!- cómo las tropas del católico emperador Carlos V arrasaban Roma en 1527) y varios cardenales habían escuchado ya sobre su novedosa teoría. Sólo le faltaba sistematizarla en una gran obra, que incluyese todas las demostraciones geométricas y no sólo los principios básicos de su modelo cosmológico. Ese libro sería el *De Revolutionibus Orbium Coelestium*.

Resumen

El modelo cosmológico que había dominado el panorama occidental durante siglos era el geocéntrico, formulado principalmente por el astrónomo Claudio Tolomeo en su obra *Almagesto*. La Tierra permanecía en reposo en el centro del Universo, y los demás cuerpos celestes orbitaban en torno a ella. El modelo geocéntrico respondía a numerosas observaciones y a experiencias cotidianas, como el hecho de que aparentemente veamos al Sol salir y ponerse, o que no sintamos un hipotético movimiento de la Tierra. Sin embargo, era incapaz de explicar fenómenos como la retrogradación de los planetas (término que en griego significa “errante”).

En un manuscrito difundido en unos cuantos círculos científicos, y titulado *Commentariolus* (escrito probablemente en torno a 1514), Copérnico exponía una visión alternativa del Universo. En su teoría, el Sol permanecía inmóvil y muy próximo al centro del Universo, mientras que la Tierra, como los demás planetas, daba vueltas en torno al Sol además de describir un movimiento de rotación en torno a su eje.

En el *Commentariolus* se contenía, por tanto, el núcleo del futuro libro *De Revolutionibus Orbium Coelestium*, con principios como el que sostiene que el centro de la Tierra no es el centro del Universo, sino tan sólo de la gravedad y de la esfera lunar. Además, ofrecía una explicación del movimiento de retrogradación de los planetas, diciendo que “la retrogradación aparente y el movimiento directo de los planetas surge no a causa de su movimiento, sino del movimiento de la Tierra. El movimiento de la Tierra por sí solo, es, en consecuencia, suficiente para explicar tantas desigualdades aparentes en los cielos”.

Las ideas de Copérnico tuvieron, en principio, una buena acogida, recibiendo elogios del arzobispo de Capua Nicolás Schönberg.

Palabras clave

Fundamentalismo bíblico: modo de leer la Biblia de manera literal, como si cada palabra y cada sentencia tuviesen que ser entendidas tal y como aparecen escrita, obviando el momento, el lugar y el contexto en que se redactó. Basándose en ciertos pasajes bíblicos, algunos autores criticaron el heliocentrismo, sin duda guiados por una interpretación fundamentalista de los textos y no siempre por argumentos científicos.

Navaja de Ockham (Ockham’s razor): principio formulado por el teólogo y monje franciscano inglés del siglo XIV, Guillermo de Ockham, y que afirma que “los entes no deben multiplicarse más allá de lo necesario”. En terminología moderna, equivaldría a sostener que la explicación más sencilla (la que requiere de menos supuestos) es siempre preferible a la más compleja. Está en la base del moderno método científico.

Retrogradación: Fenómeno por el cual ciertos planetas, en lugar de mantener una trayectoria constante, repentinamente retrocedía, cambiando el sentido de su movimiento. Difícilmente explicable por el modelo geocéntrico de Tolomeo, Copérnico logró dar razón de ello al suponer que si la Tierra y otros planetas como Marte se desplazaban alrededor del Sol, al moverse la Tierra a mayor velocidad que Marte, la Tierra acabaría adelantándolo, lo que, aparentemente, se traduciría en un movimiento de retrogradación.

CAPÍTULO 5. REQUIEM AETERNAM: DE REVOLUTIONIBUS ORBIUM COELESTIUM

1. Un libro que hizo época

La Historia es bella porque en incontables ocasiones los seres humanos han sido capaces de legar obras bellas. Y existen pocas cosas tan hermosas como el conocimiento y la pasión que la Humanidad ha demostrado por él a lo largo de los siglos. En la historia de la Ciencia, una de nuestras creaciones más formidables, destacan algunas obras que, por sí solas, han cambiado nuestra imagen del mundo: los *Discursos y demostraciones matemáticas en torno a dos nuevas ciencias*, de Galileo, los *Principia Matemática* de Newton, *El Origen de las especies*, de Darwin, el artículo “Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento”, de Einstein...

Y en esa lista exclusiva, en ese selecto “club” de títulos esenciales para entender el esfuerzo humano por comprender la naturaleza y sus leyes, está, indudablemente, el *De Revolutionibus Orbium Coelestium*.

Desde la redacción del *Commentariolus*, Copérnico había acumulado numerosas observaciones astronómicas que avalaban su teoría. Aún no disponía de telescopio (inventado en Holanda a principios del siglo XVII, y usado ampliamente con fines astronómicos por Galileo) para ver más allá de los astrónomos de la época, pero, como dice Isaac Asimov en *Momentos estelares de la Ciencia*, “contaba con la fuerza de la lógica”, y ese poder, el del razonamiento, le permitiría llegar más lejos que los demás.

Así que, manos a la obra, Copérnico reunió todos esos datos, y escribió un libro titulado *De Revolutionibus Orbium Coelestium*. En 1539, mientras trabajaba en esta obra, recibió en Frauenburg, la ciudad de cuya catedral era canónigo y en la que tenía su particular observatorio astronómico, la visita de un hombre llamado Georg Joachim von Lauchen “Rheticus”.

Rheticus era de Wittenberg, la ciudad en la que se había iniciado la Reforma protestante de Martín Lutero en 1517. Philipp Melanchton, uno de los discípulos más importantes de Lutero y un eminente humanista, se había encargado de prepararle al joven e impetuoso Rheticus (que se había convertido al protestantismo) visitas a astrónomos relevantes del momento para que aprendiese de su ciencia y pericia. Contradicciones del destino, fueron luteranos los que facilitaron la publicación del libro de Copérnico, cuando Martín Lutero había denigrado la figura del astrónomo polaco diciendo: “un astrólogo advenedizo que pretende probar que es la Tierra la que gira, y no el cielo, el firmamento, el Sol o la Luna (...). Este loco echa completamente por tierra a ciencia de la Astronomía, pero las Sagradas Escrituras nos enseñan que Josué ordenó al Sol y no a la Tierra que se detuviese” (R. Espoz, *Un conflicto en el origen de*

la ciencia moderna: Copérnico u Osiander, 1988, 49). Y Calvino, el reformador francés y autor de la *Institio christianae religionis* (1536), que da nombre al calvinismo (hoy tan presente, bajo diversas denominaciones, en países como Estados Unidos), contestó a Copérnico con el Salmo 93, versículo primero, en la mano: “También el mundo es estable, y no puede ser movido”. ¿Quién se atreverá a poner la autoridad de Copérnico por encima de la del Espíritu Santo?, se preguntaba Calvino, en otro alarde de fundamentalismo bíblico.

Rheticus debió de sentirse un auténtico privilegiado por conocer a Copérnico y poder aprender del ya entonces anciano astrónomo polaco (de quien dijo que era “el mejor y más grande de los hombres”), quedándose dos años junto a él en Frauenburg (o Frombork). Durante esa estancia, el propio Rheticus se encargó de poner por escrito una *Narratio Prima de libris revolutionuum*, que recogía los aspectos principales de las teorías copernicanas en forma de carta al matemático y astrónomo de Nürenmberg Johannes Schöner, y que tuvo muy buena aceptación. Probablemente, Rheticus intentó convencer a Copérnico contra viento y marea (dadas las reticencias del sabio a publicar sus descubrimientos) amparándose en el éxito de la *Narratio Prima*, para que terminase su *opus magnum*, su gran obra.

Y las palabras de Rheticus tuvieron efecto, haciendo que Copérnico mandase el manuscrito a su amigo el obispo de Kulm, Tiedemann Giese. Giese se lo reenvió a Rhetiuss (que ya no estaba en Frauenburg), para que fuese él quien hiciese las gestiones oportunas con la imprenta de Johannes Petreius en Nürenmberg, y así conseguir que el libro saliese a la luz. Oh paradoja, Rheticus, el gran abogado y admirador de Copérnico, no fue profeta en su tierra, y de hecho, cuando le hizo llegar el manuscrito de la *Narratio* a su mentor Melanchthon, el teólogo alemán escribió en una carta fechada el 16 de octubre de 1541 que “algunos consideran un logro distinguido construir algo tan alocado como ese astrónomo polaco, que mueve la Tierra y fija el Sol. De verdad, los gobernantes sabios deberían domar las desenfrenadas mentes de los hombres”. Y no sólo eso, sino que cuando Rheticus se propuso enseñar la teoría de Copérnico a sus alumnos en Wittenberg, le ordenaron que explicase, en lugar de la obra copernicana, la *Sphaera* del astrónomo Juan de Sacrobosco.

Rebobinemos: Copérnico le manda el manuscrito a Giese; Giese, a su vez, se lo envía a Rheticus. Pero Rheticus, que tenía que dejar Wittenberg para viajar a Leipzig, le pasó a su vez el manuscrito a un teólogo protestante llamado Andreas Osiander, con quien Copérnico había mantenido un interesante intercambio epistolar unos años antes.

Y, finalmente, el libro sale publicado en 1543, ¡el año de la muerte de Copérnico! Cuenta la leyenda que el anciano astrónomo polaco recibió el libro ya en su lecho de muerte, un día antes de fallecer, a modo de *Réquiem*, pero una misa de “réquiem” que ni Mozart habría podido componer: el sabio ve su gran obra justo antes de morir. Podía así descansar tranquilo y en paz, con la seguridad de que sus ideas llegarían a los científicos de su tiempo y, más aún, con la convicción de que una sola

existencia, la suya, bastaba para cambiar el rumbo de la Historia y de nuestra idea del Universo. Aunque la cosa no fue tan sencilla, y hubo que esperar más de un siglo para que la teoría de Copérnico fuese plenamente aceptada.

Copérnico dedicó el libro al Papa Paulo III (“*ad Sanctissimum dominum Paulum III, pontificem maximum, Nicolai Copernici prefatio*”), miembro de la ilustre familia italiana de los Farnesio, y el que convocó (ante la insistencia del emperador Carlos V) el concilio de Trento en 1545 para tratar de hacer frente a la crisis suscitada por el protestantismo. En su dedicatoria, Copérnico explicaba detenidamente al Papa las razones que le habían llevado a proponer su teoría, que no eran en absoluto gratuitas, sino cuidadosamente fundadas en las observaciones y en las deducciones geométricas y matemáticas. Copérnico le reconoce al Papa que estaba asustado de proponer semejante teoría, consciente de las opiniones contrarias que suscitaría y de los problemas que podría traerle por osar contradecir la ciencia de los antiguos, que contaba con una tradición más que milenaria. Era la primavera de 1543.

2. Un libro en varios “libros”.

El *De Revolutionibus* constaba de seis “libros”, equivalentes a los capítulos de nuestros días. En el primero, Copérnico daba una exposición sumaria de su “sistema mundi”, su sistema o modelo del Universo (el heliocéntrico), exponiendo los puntos fundamentales de su teoría. El segundo libro daba una lista de las estrellas y de las esferas celestes que iba a utilizar en el desarrollo de su teoría. En el tercer libro, Copérnico describe los movimientos aparentes del Sol (que él, en realidad, atribuiría a la traslación de la Tierra alrededor del Sol), mientras que en el cuarto estudia la Luna y sus movimientos orbitales. En el quinto libro ya ofrece una explicación detallada de su nuevo sistema, el heliocéntrico, tema que continúa en el sexto y último libro. Como vemos, el *De Revolutionibus* de Copérnico es un auténtico tratado astronómico, que recoge observaciones y teorías, hechos e hipótesis, en una nueva imagen cosmológica. Es el nuevo *Almagesto*.

El libro posee un total de 131 capítulos, la mayoría de los cuales constituyen respuestas a preguntas concretas o tratamientos más o menos exhaustivos de aspectos determinados que se derivan del nuevo modelo planetario de Copérnico.

Así, el primer capítulo incluye apartados que sientan tesis como las siguientes: el Universo es esférico; la Tierra también es esférica; cómo la Tierra forma una única esfera junto con el agua; el movimiento de los cuerpos celestes es uniforme, eterno, y circular o compuesto de movimientos circulares. También toca temas como el porqué del acuerdo casi unánime entre los antiguos de considerar a la Tierra en reposo y en el centro del Cosmos, o si se le pueden atribuir diferentes movimientos a la Tierra. También se plantea el problema del orden de las esferas celestes, o cuestiones estrictamente geométricas como los triángulos esféricos.

Comprobamos cómo con un simple vistazo al índice del libro primero, salta a la vista esa particular combinación de conservadurismo y de innovación que siempre habría de caracterizar la obra de Copérnico. Por una parte, el astrónomo polaco se atiene a varios de los postulados de los filósofos griegos, como la esfericidad del Universo, o el movimiento uniforme, eterno y circular de los cuerpos celestes, tan en consonancia con el pensamiento platónico y con la idea helena de perfección. Pero se aprecia ese elemento revolucionario en Copérnico que le haría formular un modelo cosmológico distinto del geocéntrico.

En el libro, Copérnico demuestra conocer ampliamente las obras de los astrónomos antiguos (Tolomeo, el Regiomontano...) y disponer de una gran cantidad de datos observacionales, que le permiten elaborar sus hipótesis matemáticas. Comienza explicando por qué el mundo es esférico, argumentando que la esfera es la figura más perfecta, porque posee la mayor capacidad para una superficie dada. Y al igual que el mundo es esférico, también lo es la Tierra, para después defender que en la Tierra, los centros de gravedad del agua y de la masa terráquea coinciden, discutiendo las ideas que habían expresado a este respecto los grandes filósofos griegos (Anaximandro, Empédocles, Aristóteles...). Copérnico prosigue el libro mostrando que el movimiento de la Tierra debe ser circular, uniforme y perpetuo, ya que el circular es el movimiento natural de la esfera.

Y seguidamente entra en materia. ¿Hay o no razones que permitan sugerir que la Tierra no permanece inmóvil en el centro del Universo? Copérnico es perfectamente consciente de que había muchos argumentos a favor del geocentrismo. Pero Copérnico no se rinde. De hecho, usa los mismos argumentos que los antiguos, pero a la inversa. Si con la teoría de Aristóteles de que los cuerpos tienden a su lugar natural se había querido apuntalar el geocentrismo, Copérnico lo usa para demostrar que, como lo natural en una esfera es el movimiento circular, si la Tierra es una esfera no debe extrañar a la razón que describa una órbita circular y que por tanto no permanezca quieta, en reposo. Sería su movimiento natural, por lo que quienes argumentaban que si la Tierra rotase acabarían desintegrándose los cielos, olvidan que de un movimiento natural no se pueden seguir semejantes efectos. De hecho, sería mucho peor pensar que los demás astros dan vueltas en torno a la Tierra, porque al ser más voluminosos y pesados, mayor sería el peligro de desintegración. Y, por otra parte, si el cielo exterior a la Tierra fuese infinito, ¿cómo es que lo infinito es capaz de rotar alrededor de un cuerpo finito como la Tierra? Aunque aquí, Copérnico reconoce que discutir qué es y qué no es lo infinito es cuestión sumamente complicada, reservada para los filósofos y metafísicos.

Pero Copérnico no habría sido quien ha resultado ser a ojos de la Historia si no hubiese incluido en su libro unas valiosísimas páginas repletas de tablas y de cálculos matemáticos. Aristarco de Samos había propuesto, siglos antes que Copérnico, una teoría heliocéntrica, pero no había ofrecido una justificación detallada matemática. Copérnico sí. Se atrevió con los cálculos; no tuvo miedo ni pereza para acometer una

tarea tan compleja, ardua y agotadora (máxime con el instrumental matemático disponible en su época), y seguramente tuvo que pasar horas y horas de concentración en su estudio de Frauenburg antes de poder anunciar al mundo su genial teoría. Ese trabajo minucioso y casi desconocido, que suele pasar desapercibido en las obras de divulgación, es lo que realmente ha hecho grandes a las mentes más extraordinarias de todos los tiempos. Vivimos en una sociedad que consume información en cantidades ciclópeas, que necesita información. Y esa inmensa cantidad de información conlleva, con frecuencia, que se simplifique la información, que se faciliten los contenidos para hacerlos “digeribles” y asimilables. Esto es importante, porque lógicamente no se le puede exigir a todo el mundo que tenga el conocimiento de un especialista en una determinada materia científica o humanística. Pero no debe hacernos olvidar que tan importante como la conclusión, como el “item” informativo que nos dan los medios, es el proceso deductivo que permitió a un autor sacar esa conclusión. Cualquiera puede decir que el tiempo es relativo y quedarse tan tranquilo. Pero si no acomete los cálculos precisos que llevan a reformar la física de Newton, como hizo Einstein, no sirve de nada. Igual que en la filosofía: uno puede proponer una concepción ética o una filosofía de la Historia, pero si lo hace a modo de “titular”, sin un desarrollo que sepa extraer conclusiones, postular principios, analizar lo que otros han dicho antes..., poco quedará de su propuesta.

Así, con detallados diagramas a base de compás, escuadra y cartabón, Copérnico justificó cómo su teoría explicaba el movimiento de retrogradación de los planetas y otros muchos fenómenos, aunque en ocasiones tuvo que hacer uso de construcciones geométricas casi tan complicadas como las de Tolomeo. Pero lo importante es que el modelo resultante era, a la postre, más armónico, simple y elegante, y explicaba más fenómenos que el geocéntrico.

Prueba de la meticulosidad y exhaustividad de Copérnico es el índice del libro segundo, que abarca, entre otros particulares, la oblicuidad de la elíptica, la distancia entre los trópicos y el método para determinar estas cantidades; los arcos y los ángulos de las intersecciones del ecuador, la eclíptica y el meridiano; las intersecciones del horizonte; las horas y las partes del día y la noche; el ángulo al que la eclíptica interfecta el horizonte; el ascenso y el descenso de los cuerpos celestes o la investigación sobre las posiciones de las estrellas. Todo ello, claro está, jalonado de valiosas tablas, como la de los ángulos que genera la eclíptica con el horizonte.

Lo esencial de su teoría ya lo había dado a conocer en el *Commentariolus*, a saber, que el centro del Universo está cerca del centro del Sol (de modo análogo a como, en el sistema de Tolomeo, el centro del Universo estaba cerca del centro de la Tierra). En torno al Sol se disponen diferentes esferas celestes: Mercurio, Venus, la Tierra y la Luna, Marte, Júpiter, Saturno y las estrellas fijas. En lo esencial, responde al mismo esquema que todos hemos estudiado en la escuela: el sistema Solar lo componen el Sol en su centro con los planetas girando a su alrededor, justamente en ese orden (Mercurio, Venus, Tierra, Marte, Júpiter, Saturno). Hoy sabemos que más allá de

Saturno, y dando vueltas también alrededor del Sol, está Urano (descubierto por el astrónomo alemán Herschel en el siglo XVIII), y tras Urano, Neptuno (conocido gracias al francés Leverrier, en el siglo XIX, que había supuesto su existencia para explicar anomalías en los movimientos de los planetas circundantes, que sólo podían justificarse si se aceptaba que existía otro planeta, Neptuno, que generaba un potente campo gravitatorio). Pero la idea es, *mutatis mutandis*, la misma que propuso Copérnico.

Copérnico resume su imagen del Universo en su sucinto y expresivo párrafo:

“Primero y por encima de todo yace la esfera de las estrellas fijas, que se contiene a sí misma y a todas las cosas, y que, por esa razón, es inmóvil (...). De los cuerpos móviles primero viene Saturno, que necesita treinta años para completar su órbita. Después, Júpiter, que se mueve en una revolución de 12 años. Luego Marte, de revolución bienal. En cuarto lugar, se da un ciclo anual, en el cual está contenida la Tierra, con la órbita lunar a modo de epiciclo. En quinto lugar, Venus tarda nueve meses en orbitar. Luego Mercurio ocupa el sexto lugar, circulando en el espacio de ochenta días. En el centro de todo se sitúa el Sol. (...). Encontramos, por tanto, una maravillosa simetría bajo esta ordenada disposición, y una relación definida de armonía en el movimiento y en la magnitud de las órbitas, de una forma imposible de obtener de otro modo cualquiera” (*De Revolutionibus* I, 10).

Obviamente, nuestro concepto de Universo es mucho más amplio, y no se limita al sistema solar. Hoy sabemos que existen miles de millones de galaxias (a esto contribuyó mucho el trabajo del astrónomo estadounidense Edwin Hubble -1889-1953-, que amplió nuestro horizonte cósmico mucho más allá de la Vía Láctea, descubriendo además que el Universo está en expansión y que cada vez se hace más grande), y que nuestro sistema solar es una minúscula parte de una de esas galaxias, la Vía Láctea. Pero el que empezó a trastocar nuestra imagen del Cosmos y sobre todo de nuestro lugar en él, fue Copérnico. Podremos ampliar el tamaño del Universo en millones de años luz, pero el cambio fundamental lo dio este genial astrónomo polaco, que se atrevió a privarle a la Tierra del título de centro del Universo. Todos los hallazgos posteriores no son sino consecuencias, por así decirlo, de ese giro radical (o “revolución copernicana”, parafraseando a Kant), y vienen a confirmarlo (lógicamente, mostrando que sólo representaban una aproximación muy limitada, “timorata”, y que aún había que progresar mucho más, pero progresando, al fin y al cabo, en la misma dirección que Copérnico). . Él mismo llegó a escribir que “la Tierra es con respecto al cielo como un punto con respecto al cuerpo y como lo finito con respecto a lo infinito”.

Copérnico hizo un esfuerzo intelectual descomunal para exponer su teoría. El universo griego había quedado tan bellamente sintetizado en el modelo geocéntrico de Tolomeo, con la herramienta de la física de Aristóteles, que para modificar la imagen del universo, era necesario proponer una nueva física, una nueva ciencia, y esto sería un proceso largo y complejo que no se completaría hasta Newton, en el siglo XVII.

3. Dos teorías: sus pros y sus contras

La publicación del libro de Copérnico significaba que, desde entonces y en adelante, habría dos teorías antagónicas que rivalizaban en la explicación del movimiento de los planetas y de la estructura del Universo: el geocentrismo de Claudio Tolomeo y el heliocentrismo de Copérnico.

Como analizaremos con mayor detenimiento, hasta bien entrado el siglo XVII, y principalmente gracias a las observaciones que Galileo hizo con su telescopio, la mayoría de los astrónomos continuaban aceptando el modelo geocéntrico de Tolomeo. Estaba, como hemos reiterado, más en concordancia (aparentemente) con las experiencias más cotidianas. Una de las grandes mentes científicas y filosóficas del siglo XVI, y uno de los padres del moderno método de las ciencias experimentales, el inglés Sir Francis Bacon (1521-1626), expone de manera resumida y brillante los pros y los contras de ambas teorías en su obra *Descripción del globo intelectual* (publicada en 1612):

“Concediendo pues, que haya un sistema, se ha de pasar a la siguiente cuestión: ¿cuál es el centro de dicho sistema? De entre todos los cuerpos susceptibles de ocupar esa posición, hay dos que parecen adecuarse mejor a tal naturaleza: la Tierra y el Sol. A favor de la Tierra cuentan el testimonio de los sentidos, una inveterada creencia y, sobre todo, el hecho de que puesto que los cuerpos densos tienden a concentrarse y los raros a expandirse considerablemente (el área de todo círculo se contrae hacia el centro), de ello se sigue casi necesariamente que el angosto espacio que rodea al centro del universo parece el lugar propio y adecuado para los cuerpos densos. A favor del Sol, en cambio, está la consideración de que al cuerpo que realiza la labor primordial del sistema le ha de corresponder tal lugar a fin de que pueda actuar mejor sobre todo el sistema; como quiera que parece ser el Sol el que confiere vida al Universo al transmitirle luz y calor, no deja de resultar correcto y apropiado suponerle en el centro del mundo. Además, el Sol tiene a Venus y Mercurio por satélites –y, conforme a la opinión de Tycho, también a los otros planetas-, de manera que es obvio que puede constituir un centro y desempeñar ese papel. En consecuencia, ningún otro astro parece más adecuado para ocupar el centro del Universo, como afirmara Copérnico.

Ahora bien, el sistema de Copérnico presenta muchos y grandes inconvenientes, pues el tercer movimiento atribuido a la Tierra es enormemente insatisfactorio [tercer movimiento rechazado por Giordano Bruno y Galileo Galilei, entre otros], en tanto que privar al Sol de la compañía de los planetas –con los que tantas pasiones tiene en común- constituye igualmente una dificultad; por lo demás, introducir tanta inmovilidad en la naturaleza, convirtiendo en inmóviles al Sol y a las estrellas, que son precisamente los cuerpos más luminosos y resplandecientes, hacer que la Luna gire en un epiciclo alrededor de la Tierra, así como otras muchas de sus suposiciones, demuestran hasta qué punto le traía sin cuidado a Copérnico introducir cualesquiera hipótesis sobre la naturaleza siempre y cuando los cálculos resultaran satisfactorios.

Pero, concediendo que la Tierra se mueva, en lugar de establecer un sistema con el Sol en su centro, parecería mucho más lógico suponer que no hay sistema alguno, sino –conforme a las doctrinas ya mencionadas- globos dispersos. Eso es lo que desde la antigüedad y durante siglos se ha venido creyendo y sosteniendo. Ahora bien, la doctrina del movimiento de la Tierra no es nueva, sino que –como ya dijimos- se ha tomado de los antiguos, mientras que la idea de que el Sol permanece inmóvil en el centro del mundo sí que es absolutamente nueva (excepto por lo que respecta a un pasaje mal traducido) y ha sido Copérnico el primero en mantenerla”.

4. Un curioso prólogo que da mucho que pensar

El libro de Copérnico incluía un valioso prólogo escrito por Andreas Osiander, el teólogo luterano que se había encargado de facilitar los trámites de la edición. Osiander no era un astrónomo profesional, pero supo ver, quizás como pocos en su época, las implicaciones de un nuevo método, el científico, y su alcance. Osiander (1498-1552) era amigo de Martín Lutero y publicó una armonía entre los cuatro evangelios (al estilo del célebre *Diatessaron*, del escritor sirio del siglo II después de Cristo, Taciano).

El prólogo de Osiander sostenía lo siguiente:

“Es propio del astrónomo examinar la historia de los movimientos celestes a través de una diligente y concienzuda observación; y, luego, idear o imaginar cualesquiera causas o hipótesis de ellos –ya que de ninguna manera podrán alcanzar las verdaderas-, sobre la base de las que podrán calcularse correctamente dichos movimientos, de acuerdo con los principios de la geometría, tanto en el futuro como en el pasado (...). Pues no es necesario que esas hipótesis sean verdaderas, ni siquiera verosímiles, sino que es suficiente una sola cosa: que proporcionen un cálculo de acuerdo con las observaciones (...). Y si inventa algunas – como en realidad las inventa, y en gran cantidad-, de ninguna manera lo hace a fin de convencer a alguien de que sean reales, sino tan sólo para fundamentar un cálculo exacto. Ahora bien, puesto que a veces se ofrecen diferentes hipótesis del mismo movimiento, el astrónomo adoptará la que resulte más fácil de comprender (...). Y que nadie, en lo que a las hipótesis se refiere, espere de la astronomía nada de cierto, ya que ella no pretende nada semejante”

Osiander está resumiendo, en este párrafo tan breve, las características principales del moderno método científico. Los filósofos de la Antigüedad, desde los pre-socráticos (Tales de Mileto, Anaxímenes y Anaximandro, Anáxágoras, Empédocles...) hasta los grandes teorizadores de la metafísica griega (Platón, Aristóteles...) habían concebido la razón humana como capaz de llegar a conocer la verdadera *esencia* de las cosas, su auténtico fundamento (lo que el famoso filósofo alemán Immanuel Kant llamará *noúmeno*, νοούμενον en griego, el núcleo de inteligibilidad de los seres). El objetivo de la Ciencia sería, por tanto, el de buscar esa

esencia, ese núcleo de verdad, y los filósofos antiguos habían confiado profundamente en el poder de la inteligencia humana para alcanzar esa verdad.

En cambio, con el nacimiento de la ciencia moderna se abandona esa visión. La Ciencia no pretende conocer la esencia, el verdadero fundamento de las cosas, lo realmente real, sino que tiene unos fines mucho más limitados pero al mismo tiempo mucho más pragmáticos y certeros: lo que se propone es describir de la manera más fiel posible los procesos que tienen lugar en la naturaleza. Es consciente de que sus conclusiones están sujetas a cambios, porque la última palabra la tienen los experimentos (lo que la realidad física nos dice: el científico le pregunta a la naturaleza mediante la realización de experimentos concretos en condiciones determinadas que permiten estudiar uno u otro factor; la naturaleza responde dando resultados empíricos), y es perfectamente posible que se encuentren hipótesis que expliquen mejor esos fenómenos. Un buen científico no es sólo un buen teórico, alguien que propone buenas hipótesis, hipótesis inteligentes que se terminan corroborando. También es aquél que propone buenos experimentos, experimentos inteligentes que saben desechar lo accesorio y quedarse con lo importante: los experimentos que se hacen las preguntas oportunas y pertinentes. Hay innumerables factores y variables que convergen en un proceso físico. Pero lo relevante no es estudiarlos todos (esto sería imposible: ni los más potentes ordenadores de nuestro tiempo son capaces de asimilar tantas variables y cómo interactúan simultáneamente), sino los que son necesarios y suficientes, los que presentan un mayor valor de cara a ofrecer una explicación de lo que está ocurriendo en ese fenómeno. O, como escribiera Francis Bacon en su *Teoría del Cielo*, se trata de establecer un “pacto entre la filosofía y la astronomía en virtud del cual ésta habrá de preferir las hipótesis más adecuadas y cómodas para el cálculo, mientras que aquélla se aproximará más a la verdad; por lo demás, las hipótesis de la astronomía no deberán prejuzgar la verdad de las cosas, ni los principios de la filosofía podrán apartarse de los fenómenos astronómicos”.

La hipótesis geocéntrica de Claudio Tolomeo era una hipótesis que daba cuenta de ciertos fenómenos astronómicos que se habían observado desde hacía siglos. Pero tenía que hacer muchas suposiciones (la mayoría de ellas gratuitas), y por eso, cuando alguien como Copérnico propuso una hipótesis alternativa (en este caso la geocéntrica) que explicaba todavía más fenómenos que la de Tolomeo (por ejemplo, el movimiento de retrogradación de los planetas) y que además empleaba un menor número de suposiciones, la comunidad científica acabó inclinándose por esta hipótesis y rechazando la de Tolomeo. Ockham había establecido su famosa “navaja”, en la base de la ciencia moderna (*entia non sunt multiplicanda prater necessitatem*, “no hay que multiplicar los entes más de lo necesario”), y Copérnico usaba menos entes y además proponía una hipótesis más simple, elegante y explicativa. Sus poderes descriptivo y predictivo (lo que se podía deducir a partir de ella) eran mayores que los de la teoría de Tolomeo. Si una teoría explica fenómenos de los que otra no puede dar cuenta, en principio es válida hasta que no se pueda negar su corrección mediante resultados experimentales.

Es lo que el célebre filósofo de la Ciencia nacido en Austria, pero que emigró a Inglaterra y fue profesor en la prestigiosa *London School of Economics*, Karl Popper, llamó (en un libro que marcó época, titulado *La lógica de la investigación científica*), el “criterio de falsabilidad”: las hipótesis científicas pueden ser tenidas por válidas hasta que son “falseadas”, esto es, refutadas empíricamente. Siempre hay una cierta “incertidumbre” o inseguridad a la hora de decir: ¿esta teoría es la explicación definitiva de tal o cual fenómeno!, aunque algunas sean muy probables. La mecánica de Newton era casi dogma de fe hasta que vinieron Einstein y la teoría de la relatividad por un lado y la mecánica cuántica por otro. ¿Y quién se atrevería a negar que en un futuro se pudiese descubrir una teoría mejor, que abarcase más y que fuese más precisa que la relatividad?

La Ciencia necesita de las matemáticas como lenguaje para describir el funcionamiento de la naturaleza, al estudiar sus aspectos cuantitativos y cómo se relacionan unas variables con otras. Pero las matemáticas son siempre una aproximación a la realidad. Nunca agotan la realidad. Sucede lo mismo que con las famosas *asíntotas*, esas funciones matemáticas que se aproximan indefinidamente al eje de coordenadas pero que nunca lo tocan (por ejemplo, en la función $f(x) = \frac{1}{x}$, cuando $x=0$, el resultado tiende a infinito). La certeza plena no existe en la Ciencia, que constituye una aproximación (sin duda la mejor que ha encontrado la Humanidad) para comprender la realidad física, espacio-temporal. Y justamente en ello reside su grandeza, porque nos invita continuamente a avanzar en el conocimiento, a proponer mejores hipótesis, a conseguir resultados experimentales más exactos, a plantearle nuevas y mejores preguntas a la naturaleza...

Con los hitos de Copérnico, Kepler, Galileo y Newton, que dieron el impulso definitivo a la ciencia moderna, fue posible establecer una distinción entre los planos filosófico, teológico y científico, antes algo confusos. Cada uno tiene su ámbito de aplicación, su metodología propia, su rango y su alcance, y es sumamente arriesgado superponerlos, intentando, por ejemplo, buscar explicaciones filosóficas para fenómenos físicos, y más aún si se trata de razonamientos teológicos que pretenden basarse en la Biblia. Y, a la inversa, la ciencia no puede pretender (si no quiere correr el riesgo de ir más allá de su método y de no ser ciencia rigurosa) entrometerse en otros campos. Diálogo sí; confusión, no.

5. Copérnico y su influencia

Y el 24 de mayo de 1542 falleció el genio polaco. *Sic transit gloria mundi*. Al menos había tenido la oportunidad de contemplar con sus propios ojos su obra acabada, que cambiaría nuestra visión del Universo y de nuestro lugar en el Cosmos. La Historia haría justicia a los logros y méritos del gran astrónomo Nicolás Copérnico, una de las mentes más influyentes de todos los tiempos. Influyente porque la imagen que tenemos del mundo tiene un antes y un después con su trabajo. Influyente porque a ti, lector, y a mí, que vivimos en el siglo XXI, nos ha afectado. No seríamos lo que somos

sin Copérnico, como tampoco lo seríamos sin Galileo o sin Darwin. Hay acontecimientos y personas que a día de hoy nos parecen importantísimas, esenciales para comprender la Historia. Pero, seguramente, con el transcurrir de los años se vea que no eran tan influyentes como creíamos. En cambio, en el caso de mentes maravillosas como la de Copérnico, sí hemos podido ver, en retrospectiva y con la distancia de varios siglos (uno de los mejores antidotos contra la precipitación en los juicios históricos) que realmente ha influido decisivamente en la cultura moderna, porque si prescindimos de su nombre hay muchas cosas que no se pueden entender.

El poeta Johann Wolfgang von Goethe (1749-1828), una de las cimas de la literatura alemana, escribió sobre Copérnico: “De todos los descubrimientos y opiniones, ninguno ha podido ejercer un efecto más poderoso sobre el espíritu humano que la doctrina de Copérnico”. Y Sigmund Freud, el padre del psicoanálisis, comparó el papel desempeñado por Copérnico con el que habían jugado Darwin y él mismo, al sugerir que Copérnico nos había quitado del centro del Universo; Darwin había demostrado que no somos el centro de la vida (sino que procedemos de una cadena evolutiva de la que somos un eslabón, aunque indudablemente singular), y Freud, que no somos siquiera el centro de nosotros mismos, al existir un subconsciente que en gran medida escapa a nuestro control. Lo cierto, en todo caso, es que a partir de Copérnico el ser humano se ha sentido bastante solo en el Universo, en un cosmos cada vez más inmenso y oscuro. Si antes cabía estar tranquilos por esa “centralidad” (la Tierra como centro del Universo), desde Copérnico, y sobre todo con los descubrimientos de la astronomía moderna que nos muestran un universo gigantesco, descomunal, donde la Tierra ocupa una minúscula, ínfima e insignificante parcela del espacio, estamos algo asustados. Lo expresaba mejor que nadie el matemático, filósofo y teólogo francés Blaise Pascal cuando decía: “el silencio de estos vacíos me aterra”. El ser humano, solo en el Cosmos, en un cosmos que no le habla, en un cosmos frío e inanimado. Pero, como el propio Pascal escribió, el ser humano es frágil y pequeño en comparación con el universo, pero es capaz de pensar, y el pensamiento y la inteligencia nos permiten abrirnos a horizontes infinitos, nos dan la posibilidad de comprender las leyes que rigen el funcionamiento de ese cosmos gigantesco y aparentemente hostil a nosotros. Nos da, en definitiva, el mayor de los poderes.

Resumen

La gran obra donde Copérnico expuso su teoría heliocéntrica se titula *De Revolutionibus Orbium Coelestium*. Aunque fue publicada en 1543, poco antes de su muerte, Copérnico había empezado a redactarla mucho tiempo antes, animado, entre otros, por el astrónomo protestante Rheticus. Aunque los grandes reformadores, como Lutero, Melancton o Calvino, rechazaron las teorías de Copérnico, éste encontró un amplio séquito de discípulos procedentes del ámbito protestante.

La edición de la obra más famosa de Copérnico no fue en absoluto sencilla. Copérnico tuvo que enviar el manuscrito a Giese, y Giese al citado Rheticus, quien pasó el manuscrito al teólogo protestante Andreas Osiander. Osiander, aun sin dedicarse profesionalmente a la Ciencia, escribió el prólogo al *De Revolutionibus*, prólogo en el que señalaba que la teoría heliocéntrica de Copérnico es, fundamentalmente, una hipótesis matemática que simplifica enormemente los cálculos con respecto al modelo geocéntrico, seguramente para proteger a Copérnico de sus detractores, y también para transmitir la idea de que las teorías científicas no pueden ansiar llegar al núcleo mismo, a la verdad de la realidad, sino tan sólo ofrecer aproximaciones. El libro iba dedicado al Papa Paulo III.

En los seis libros que componían el *De Revolutionibus*, Copérnico justificaba meticulosamente sus afirmaciones, incluyendo gran cantidad de tablas y de diagramas. El libro era, por una parte, innovador, al romper con una tradición multiseular que, desde la época griega, había mantenido una visión geocéntrica del Universo, pero por otro lado era conservador, al preservar principios como el de las órbitas circulares de los cuerpos celestes, que perduraría hasta Johannes Kepler en el siglo XVII.

La influencia de Copérnico en la Ciencia y en la cultura resulta casi inconmensurable. Acabaría modificando nuestra manera de contemplar el Universo, y obligaría a repensar el papel del ser humano en el Cosmos. Goethe se atrevió a decir que ningún descubrimiento había sido tan decisivo como el de Copérnico.

Palabras clave

Asíntota: función matemática que en determinados valores tiende al infinito, aproximándose indefinidamente a los ejes pero sin llegar a cortarlos.

Epiciclo: Círculo que se suponía descrito por un planeta alrededor de un centro que se movía en el deferente.

Deferente: Aplícase al círculo que se suponía descrito alrededor de la Tierra por el centro del epiciclo de un planeta.

Hipótesis: Enunciado científico que intenta explicar un fenómeno determinado en base a razonamientos teóricos y evidencias experimentales, a la espera de ser confirmado o refutado.

Órbita: Trayectoria que, en el espacio, recorre un cuerpo sometido a la atracción gravitatoria ejercida por los astros.

Precesión: Movimiento retrógrado de los puntos equinociales o de intersección del ecuador con la eclíptica, en virtud de la cual se anticipan un poco de año en año las épocas de los equinoccios o el principio de las estaciones

Eclíptica: Círculo máximo de la esfera celeste, señalando el curso aparente del Sol durante el año.

Ecuador: Círculo máximo que se considera en la esfera celeste, perpendicular al eje de la Tierra.

Equinoccio: época en la que, por hallarse el Sol sobre el ecuador, los días son iguales a las noches en toda la Tierra,.

Solsticio: Época en la que el Sol se halla en uno de los dos trópicos.

CAPÍTULO 6. TYCHO BRAHE, KEPLER, GALILEO Y NEWTON, O EL TRIUNFO DE COPÉRNICO

Copérnico planteó su hipótesis heliocéntrica, a saber, que era la Tierra la que giraba en torno al Sol y no al revés, para resolver ciertos problemas que no encontraban fácil solución en el modelo geocéntrico de Claudio Tolomeo (especialmente el del movimiento de retrogradación de los planetas) y, sobre todo, para ofrecer una explicación más sencilla de la estructura y del funcionamiento del Universo. El esquema de Tolomeo, con un sinnúmero de epiciclos y de circunferencias, se había hecho extremadamente complicado. Con el supuesto de Copérnico, la cosa se simplificaba enormemente.

Pero, lógicamente, no todos aceptaron las ideas de Copérnico. La experiencia cotidiana, el apego a una tradición astronómica de siglos y a la intuición psicológica que decía que el ser humano debía ocupar el centro del Universo, habían influido de manera demasiado poderosa en la cultura. Además, aunque las teorías de Copérnico ofrecían, por ejemplo, una justificación más verosímil que la de Tolomeo sobre fenómenos como el movimiento de retrogradación, dejaban muchas incógnitas en el aire. Para empezar, si la Tierra se movía, ¿cómo es que el cielo, la atmósfera, no se “escapaba” de la Tierra? ¿Cómo es que nosotros no notamos ese hipotético movimiento de rotación terrestre en torno al Sol?

1. Tycho Brahe vuelve al geocentrismo

Por ello, el astrónomo danés Tycho Brahe (1546-1601), uno de los más importantes del siglo XVI, propuso una teoría rival. Brahe había nacido en Knudstrup, al sur de Suecia (parte, en aquella época, de Dinamarca), al poco de morir Copérnico, y pertenecía a una de las familias más distinguidas de su país. Al igual que el tío de Copérnico, el obispo Watzenrode, se había cuidado de conseguir para su sobrino la mejor educación posible en Polonia y en Italia, el tío de Brahe se encargó de que Tycho entrase en la universidad a la edad de 13 años, para estudiar filosofía y derecho. Al parecer, quería hacer de él un hombre de Estado (¡también Copérnico había desempeñado puestos relevantes en la alta administración eclesiástica y civil!), pero al presenciar un eclipse de Sol el 21 de agosto de 1560 en Copenhague, el joven Brahe se sintió atraído por la astronomía.

Brahe se compró el *Almagesto* de Tolomeo y se metió de lleno en el estudio de la astronomía. Su tío no podía creerlo: era una deshonra para el noble linaje de los Brahe que uno de sus retoños se dedicase a la ciencia y no a las leyes. Por ello, lo envió a estudiar a Leipzig, al este de Alemania (la ciudad natal de uno de los mayores genios de la Historia, el filósofo, matemático y científico Gottfried Wilhelm Leibniz, que vio la

luz allí en 1646), nombrándole un preceptor muy severo que lo vigilaba constantemente y le imponía una rigurosa disciplina para que no se desviase del estudio de la jurisprudencia.

Pero estaba claro que ni su tío ni su preceptor iban a poder acabar con su firme determinación de progresar en el conocimiento de la astronomía. Estando en Leipzig, observó la aproximación de Saturno y Júpiter y comprobó que este fenómeno se producía con un mes de diferencia con respecto a lo calculado en las famosas Tablas del rey Alfonso X el Sabio (1221-1284), rey de Castilla y León.

En tiempos de Tycho Brahe, las tablas de Alfonso X el Sabio, una de las mejores aportaciones de la España medieval al progreso de las ciencias (seguramente España habría contribuido mucho más de no haber sido por el triste acontecimiento de la expulsión de los judíos en 1492, forzados a huir primero a Portugal, de donde volverían a ser expulsados a los pocos años para tener que emigrar a otros países de Europa, al norte de África o a Turquía, supuso una tragedia cultural para el mundo hispánico), eran las más utilizadas, y a efectos prácticos las únicas difundidas en Europa. Brahe se había dado cuenta de las inconsistencias y errores que tenían, y por ello se decidió a dedicarse de lleno a la observación del firmamento para hacer él unas nuevas tablas más actualizadas. Para ello, compró el instrumental más avanzado del momento, y la muerte de su tío le liberó de la exigencia (para él tan costosa) de estudiar derecho. Brahe se fue a Wittenberg y a Rostock para proseguir su formación en astronomía.

El 11 de noviembre de 1572, Brahe descubrió una nueva estrella en la constelación de Casiopea. (¡qué nombre más hermoso para una constelación!). Este hallazgo le hizo famoso en toda Europa. Algo pasaba. Aristóteles pensaba que los cielos, los espacios siderales, eran perfectos e inmutables, y que se regían por leyes completamente distintas de las que imperan en la Tierra (creencia con la que acabarían los trabajos de Galileo y Newton: una sola física para todo el Universo). Pero Brahe había observado una nueva estrella, como si hubiese aparecido de repente en el horizonte. Otros astrónomos pudieron ver con sus propios ojos lo que Brahe había encontrado, y es más, esa nueva estrella cada vez se hacía más brillante, llegando incluso a superar a Venus. Y al cabo de quince meses, desapareció como por arte de magia. Estaba claro que los cielos supra-lunares no eran tan inmutables y divinos como había imaginado Aristóteles. El opúsculo *De Nova Stella*, de Brahe, recorrió toda Europa y llegó a los principales círculos astronómicos. Hoy sabemos que lo que Brahe había descubierto era una estrella “nova”, que por desequilibrios internos en su fase terminal produce una peculiar combinación de explosión y de implosión.

Los honores para Brahe no se hicieron esperar. El rey Federico II de Dinamarca lo ascendió a astrónomo real y le otorgó la propiedad de la isla de Hven, en el mar Báltico, donde Brahe construyó dos observatorios, Uraniborg (“castillo del cielo”), en 1576, y Stjerneborg (“castillo de las estrellas”) en 1584. Y por si había asestado pocos golpes mortales contra la concepción aristotélica del mundo supra-lunar

(el que está más allá de la Luna, el de las estrellas, las esferas siderales), descubrió un cometa supra-lunar, cuando Aristóteles había dicho que los cometas sólo podían pertenecer al mundo sub-lunar porque el supra-lunar es inmutable y no puede estar sujeto a cambios y a fenómenos como el de los cometas. Y, encima, la trayectoria del cometa no era circular, aunque la mentalidad griega concebía las trayectorias de los cuerpos celestes como circulares porque la circunferencia (y su correlato tridimensional, la esfera) era el símbolo, la figura de la perfección (todos los puntos de la línea de la circunferencia distan lo mismo del centro).

Tycho Brahe legó a la astronomía europea una serie de preciosísimas observaciones que luego usarían grandes científicos posteriores. Pero a nivel cosmológico, a la hora de proponer un modelo del Universo como el geocentrismo de Tolomeo o el heliocentrismo de Copérnico, fue bastante conservador. No se atrevió a dar los pasos necesarios y a sacar las conclusiones pertinentes e ineludibles de sus observaciones. No acepta la teoría de Copérnico porque la considera herética (de acuerdo con la ortodoxia luterana: Josué había ordenado al Sol detenerse, y no a la Tierra, luego es el Sol el que orbita en torno a la Tierra y no al revés). Pero tampoco podía aceptar la teoría de Tolomeo porque, como él mejor que nadie había podido ratificar, no concordaba con las observaciones empíricas. ¿Qué hacer? A Brahe no se le ocurrió otra cosa que defender que, en efecto y como Copérnico había sugerido, los planetas giran alrededor del Sol, pero que el Sol junto con los planetas girando en torno a él da vueltas alrededor de la Tierra. Así seguía manteniendo que la Tierra era el centro del Universo pero creía ser capaz de solventar las dificultades del modelo geocéntrico de Tolomeo. ¡Casi más complicado aún!

2. Galileo, genio y figura

Pero entró en escena uno de los personajes más fascinantes de la historia de la Ciencia: el pisano Galileo Galilei (1564-1642). ¡Cuánto se ha escrito sobre la vida de este genial científico! Poco podemos añadir nosotros, pero lo cierto es que cualquiera que se acerque a su biografía y a sus hitos más destacados sentirá, no le quepa la menor duda, el espectáculo de la Ciencia en su estado más puro. En pocas personalidades se ha condensado de un modo tan extraordinario la pasión por el descubrimiento, el cuestionamiento del conocimiento existente en su época, el deseo de ver más allá y de superar a su propio tiempo,

Galileo nació el 15 de febrero de 1564 en la sempiterna ciudad italiana de Pisa, a la sombra de su célebre torre inclinada, por entonces perteneciente al gran ducado de Toscana. La vida de Galileo transcurriría a lo largo y ancho de la península de Italia, en aquella época fragmentada en repúblicas, ducados y estados pontificios, que no conseguiría la ansiada unificación hasta el siglo XIX. Era el mayor de los seis hijos de Vincenzo Galilei, un músico cuya obra se sitúa a medio camino entre la música renacentista y la barroca (hoy tan de moda: la música barroca, con nombres como los de

Vivaldi, Bach o Albinoni, constituye una de las creaciones más extraordinarias del espíritu humano; escuchándola, la vida se ve de otra manera). ¡El genio creativo le venía a Galileo de familia!

Galileo estuvo tentado de hacerse sacerdote, como tantos jóvenes de su tiempo que querían dedicarse al estudio y a la investigación. Pero finalmente no fue así, y accedió a una cátedra de matemáticas en la universidad de su ciudad natal. La corriente filosófica y científica que dominaba el panorama intelectual del momento era el aristotelismo: el pensamiento de Aristóteles era la enseñanza oficial en la mayoría de los centros académicos. Galileo, que prefería guiarse por la observación directa y por preguntarle a ese maravilloso libro que es la naturaleza sin más mediaciones que la razón y la experiencia, tuvo que sufrir el recelo y la envidia de muchos de sus colegas. Por si fuera poco, su carácter era demasiado fuerte, incluso agrio. Galileo no se dejaba vencer con facilidad, y esto, lógicamente, le hizo granjearse aún más enemigos.

Galileo es el padre de la ciencia moderna, porque creó el método científico, la correcta alternancia de hipótesis y de verificación empírica que nos lleva a explorar la naturaleza física. En lugar de limitarse a comentar lo que los sabios de la antigua Grecia habían escrito, Galileo se propuso comprobar él mismo, por sí solo, con la única fuerza del razonamiento lógico y de la experiencia, sus afirmaciones y sentencias. Como escribió con esa pluma ágil que le acompañó: “El libro [de la naturaleza] está escrito en lenguaje matemático, y los símbolos son triángulos, circunferencias y otras figuras geométricas, sin cuya ayuda es imposible comprobar ni una sola palabra de él, sin lo cual se deambula en vano a través de un oscuro laberinto”.

Galileo estudió el movimiento de los cuerpos, y estableció el famoso principio de la inercia o principio de Galileo (la primera ley de Newton), que dice que, en ausencia de fuerzas (bien porque no existan fuerzas o porque la componente total de todas las fuerzas se haga nula), un objeto permanece en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme. Aristóteles pensaba que al aplicar una fuerza sobre un cuerpo se le comunicaba una velocidad, y que por tanto, en ausencia de fuerzas el cuerpo permanecería quieto, en reposo. Para que el cuerpo se desplazase a velocidad constante habría que “forzarlo”. En realidad, lo que ocurre es que cuando se aplica una fuerza se comunica una aceleración, que es el cambio de la velocidad con respecto al tiempo (o, en términos matemáticos, la derivada de la velocidad con respecto al tiempo), y no una velocidad.

Además, Galileo observaba el movimiento de vaivén de las lámparas de la catedral de Pisa en una homilía que debió de resultar bastante aburrida, Galileo descubrió la ley del péndulo (el movimiento armónico simple). También y según cuenta la leyenda, Galileo se subió a la torre de Pisa para comprobar con sus propios ojos si era cierto aquello que había dicho Aristóteles, a saber, que el cuerpo más pesado tarda menos en caer si se le deja caer desde la misma altura que otro de menor peso. Es algo que parece evidente y elemental: una bola pesada de plomo tardará menos en caer que una de menor peso. ¿Acaso no es así? ¡Pues no! El tiempo de caída no depende de la

masa del objeto, sino de la altura, porque la aceleración en caída libre (g) es la misma, ya que depende del campo gravitatorio ejercido por la Tierra, que es el mismo para cualquier objeto que se sitúe a la misma distancia del centro de la Tierra. Si los objetos ligeros parecen tardar más en caer es por la resistencia del aire.

Si Galileo sentó las bases de la ciencia moderna al establecer una correcta metodología de trabajo y al descubrir las leyes de la cinemática (movimiento rectilíneo uniforme, uniformemente acelerado...), no menores fueron sus contribuciones al desarrollo de la astronomía. El heliocentrismo es de Copérnico, pero sin el inestimable impulso de este genial italiano difícilmente habría logrado triunfar la visión científica del mundo.

Y es que Galileo contaba con algo de lo que Copérnico y Claudio Tolomeo carecían: el telescopio. Hay inventos verdaderamente geniales, que cambian la Historia, como la escritura, la imprenta o la máquina de vapor. Y entre esos inventos, cabe señalar el telescopio, que ha permitido al ser humano ampliar su visión del Universo. Desde los tiempos más remotos, los humanos hemos mirado al firmamento en busca de respuestas. Los cuerpos celestes nos parecían objetos lejanísimos, y las estrellas y los espacios siderales de naturaleza cuasi-divina, sujetos a leyes propias e inmutables, distintas a las que operan en la Tierra. Pero gracias al telescopio, la Humanidad ha sido consciente de que el universo material es único, con las mismas leyes, que afectan a planetas y a estrellas por igual. Ha unificado perspectivas y ha sido capaz de ver más allá.

Hay acuerdo casi unánime en que, si bien Galileo no fue el inventor del telescopio (se le adelantaron unos holandeses, maestros en el manejo de las lentes –no olvidemos que otro gran invento, el microscopio, que es el telescopio de lo muy pequeño, fue inventado por un holandés, Anton van Leewenhoek), sí fue el primero en percibir su inmenso potencial como instrumento de observación astronómica. Galileo presentó su propio telescopio en el *Palazzo Ducale* de esa hermosísima ciudad que es Venecia, el 25 de agosto de 1609, a orillas del Adriático.

Se trataba de un prototipo de telescopio refractor, basado en el fenómeno óptico de la refracción, que consistía en la combinación de dos lentes, una cóncava y otra convexa, que por refracción (cambio en la dirección de una onda –como la luz– causado por un cambio en su velocidad) conseguía ampliar la imagen unas treinta veces.

Y, con semejante utensilio, sólo faltaba mirar... Y Galileo vio lo que nadie antes que él había visto. Galileo se fijó en tres objetos (y días más tarde identificó un cuarto) que daban vueltas en torno a Júpiter. Alguien podría pensar que nada tiene de especial que haya tres objetos orbitando alrededor de Júpiter. ¿O sí tiene algo de especial? En tiempos de Galileo sin duda que lo tenía. Y es que en el modelo geocéntrico, tanto en la versión más rudimentaria de Aristóteles como en la más sofisticada de Claudio Tolomeo, todo tenía que girar en torno a la Tierra. Pero estaba claro que esos objetos no giraban alrededor de la Tierra porque aparecían y

desaparecían alternadamente. Y es que eran las cuatro lunas de Júpiter: Io, Europa, Calisto y Ganímedes. Era el 7 de enero de 1610, y los Magos de Oriente le habían traído a Galileo el mejor de los regalos: había visto una auténtica “estrella”, una prueba más que contundente en contra del geocentrismo.

Galileo estaba justificando empíricamente lo que Copérnico había predicho teóricamente, con la sola ayuda del papel y del lápiz (el mejor de los laboratorios: cuando le preguntaban a Einstein cuál era su laboratorio, él se limitaba a sacar una hoja de papel y un bolígrafo. Ése era su laboratorio). Y aún hay más. El astrónomo polaco había dicho que todas las fases de Venus podrían verse debido a la órbita de este planeta alrededor del Sol, y Galileo fue de hecho capaz de observarlas con el telescopio. El *Sidereus Nuntius*, el “mensajero sideral”, en el que Galileo plasmó sus más que extraordinarios descubrimientos, conmovió a la comunidad científica europea.

Para empezar, Galileo había echado por tierra (nunca mejor dicho) la idea de que los cuerpos celestes tuviesen que girar alrededor de la Tierra. Además, también había demostrado que la teoría de Aristóteles de que el espacio sideral, el lugar que ocupan los astros, era perfecto, inmutable e incorruptible, era errónea, porque él había contemplado con sus propios ojos cráteres en la Luna. Y también se había atrevido a discutirle a Aristóteles su teoría del movimiento de los cuerpos. ¿Qué más hacía falta para desterrar las teorías cosmológicas de los griegos y abrirse a la vanguardia del heliocentrismo y de la nueva visión del mundo?

Hacían falta un Kepler y un Newton. Mientras tanto, Galileo tuvo que sufrir un proceso humillante, el denominado *caso Galileo*, que representaba en realidad una confrontación o colisión entre ideas distintas del mundo, de la Ciencia y de la religión. Frente a sus censores de la Inquisición, que proponían una lectura literal y fundamentalista de la Biblia, como en aquél texto del Antiguo Testamento en el que Josué manda al Sol detenerse, Galileo era partidario de leer la Sagrada Escritura como lo que es, un libro eminentemente religioso “que enseña a los hombres cómo ir al Cielo y no cómo es el Cielo” (frase acuñada por un ilustre eclesiástico de la época, el cardenal Baronio). La Biblia no podía tenerse como un manual de historia natural o de física. En este sentido, Galileo era un teólogo muy avanzado, mucho más que sus censores eclesiásticos.

Tampoco debemos olvidar que en el rechazo del heliocentrismo por parte de la Iglesia había razones de naturaleza política. Europa estaba dividida, desde el siglo XVI (y sobre todo desde la Paz de Augsburgo en 1555) en dos, en católicos al sur y en protestantes (herederos de Lutero, Zuinglio y Calvino) al norte, a lo que se había sumado el cisma de la Iglesia de Inglaterra con Enrique VIII en 1540. La Iglesia Católica no quería dar señales de debilidad en su seno, justamente por esa “tensión” acumulada por las disputas teológicas (que también se convirtieron en disputas políticas) con el protestantismo.

Por si fuera poco, la actitud de Galileo significaba un desafío en toda regla a un decreto de 1616 del Papa Pablo V (en el que hizo de intermediario el cardenal jesuita San Roberto Bellarmino) que le prohibía (injustamente, claro está) apoyar el modelo de Copérnico a no ser que lo hiciese como una simple hipótesis. Recordemos, dicho sea de paso, que en el prólogo al *De Revolutionibus Orbium Coelestium* de Copérnico, escrito por el luterano Osiander, este último se había cuidado mucho de subrayar que la teoría propuesta por Copérnico era una hipótesis, facilitando los cálculos astronómicos, precisión ésta (el que se trataba de una hipótesis y no de una verdad definitiva) que quizás le ahorrara en su momento más de un disgusto a Copérnico y a la publicación de su libro.

Pero Galileo no siguió, estrictamente, esa imposición. En 1632 se las ingenió para saltarse la censura y publicar una de las obras más geniales e influyentes de la historia de la Ciencia, los *Diálogos sobre los dos sistemas máximos del mundo*, a saber, el geocéntrico de Claudio Tolomeo y el heliocéntrico de Nicolás Copérnico. En estos diálogos (al igual que Platón había expuesto su filosofía en forma de diálogos, Galileo hizo lo propio con sus aportaciones a la cosmología), el sabio Salviati (personificación de Galileo) conversaba con Sagrado, un hombre caracterizado por un gran sentido común, y con Salviati, defensor del geocentrismo y mero repetidor de las ideas de Aristóteles y de Tolomeo. Simplicio acepta el modelo heliocéntrico, pero pidiendo que se haga tan sólo como una “hipótesis”. ¿No era esto una exigencia similar a la que le habían hecho Pablo V y Bellarmino a Galileo en 1616? Sin duda lo era, y el Papa del momento (Urbano VIII) se dio por aludido, y su enfado fue mayúsculo, porque se sintió ridiculizado por Galileo. Además, Galileo presentaba como una de las pruebas definitivas de su teoría el fenómeno de las mareas, que él creía causadas por la rotación de la Tierra, cuando en realidad se deben a la atracción gravitatoria de la Luna (como demostrarán Kepler y Newton).

Galileo fue sometido a un juicio inquisitorial en el que se le obligó a abjurar del heliocentrismo. Se ha criticado mucho a la Iglesia Católica por este proceso a Galileo, que siempre se pone como ejemplo de la aparentemente irreconciliable relación entre la Ciencia y la religión. Pero, para ser históricamente justos, hay que tener en cuenta diversos factores. En primer lugar, que la Iglesia no hablaba de manera dogmática y *ex cathedra*, y que por tanto las conclusiones de ese proceso no pueden verse como la postura oficial de la Iglesia, que de hecho cree en la legítima autonomía de las ciencias experimentales para ofrecer una explicación del mundo material (véase el concilio Vaticano II y las enseñanzas más recientes). En segundo lugar, que la Iglesia ha pedido perdón por el trato que se le dio a Galileo. Y, lo más importante, que estamos en una época en la que se están delineando los grandes rasgos de la civilización moderna. Es entonces cuando la Humanidad estaba aprendiendo a distinguir los planos científico, filosóficos y teológico, y en todo proceso “constitucional” surgen fricciones y conflictos casi inevitables, que hoy nos resultan extraños e incluso absurdos. Lo cierto es que la Ciencia y la religión han aprendido, con la pedagogía de los siglos, a dialogar y a no confundirse.

3. Johannes Kepler y las órbitas elípticas

Galileo fue un gigante de la Ciencia, pero nuestro conocimiento de la estructura y del funcionamiento del Universo no sería lo que es sin la obra de un astrónomo alemán, Johannes Kepler.

Tanto Claudio Tolomeo como Copérnico habían creído que las órbitas de los cuerpos celestes eran circulares. La circunferencia simbolizaba la perfección, y como había establecido el gran filósofo griego Platón en el siglo V antes de Cristo, el que observase la naturaleza debía “salvar los fenómenos” (*sozein ta fainomena*), de manera que los fenómenos acabasen adecuándose a las ideas, a las formas ideales que la razón era capaz de identificar como poseedoras de perfección. La realidad tenía que adecuarse a la idea, la realidad real, el mundo de lo inteligible, inmutable y eterno. Si las observaciones parecían sugerir que las órbitas se desviaban de la figura circular, es que las observaciones eran incompletas o parciales, porque no podía ser que los cuerpos celestes no siguiesen las trayectorias que dictaba la razón. El propio Copérnico se confesaba admirador de Platón al inicio de *De Revolutionibus Orbium Coelestium* cuando decía que el conocimiento del Sol, la Luna y los demás astros era necesario para cualquiera que quisiese ser llamado “divino”.

Y en un párrafo que ha dado mucho que hablar, Copérnico usa argumentos neoplatónicos y pitagóricos para justificar que el Sol ocupe el centro del Universo: “En medio de todos se asienta el Sol. En efecto, ¿quién, en este espléndido templo, colocaría en mejor punto del que ocupa, desde donde puede iluminarlo todo a un mismo tiempo, a esta luminaria? En verdad, es con toda propiedad que algunos lo han llamado la pupila del mundo, otros el Espíritu, otros, en fin, su Rector. Trimegisto le llama el dios visible, la Electra de Sófocles, el omnividente. De este modo el Sol, como reposando sobre un trono real, gobierna la familia de los astros que lo circundan” (citado en J.L. García Hourcade, *La rebelión de los astrónomos: Copérnico y Kepler*, 2000, 105). Kepler y Newton estuvieron cautivados durante toda su vida por la astrología. Algunos pensarán que es una deshonra para la ciencia sería, pero lo cierto es que la pseudo-ciencia, el esoterismo y el hermetismo siempre han ejercido una indudable fascinación en las grandes mentes. Lo misterioso siempre llama la atención del ser humano, y máxime de aquéllos que, por su gran mente, están “más atentos” a todo lo que sucede. Y, por otro lado, la importancia del Sol y su papel en la imaginación colectiva humana es indudable. En las grandes civilizaciones siempre ha desempeñado un papel destacado. *Ra* era la divinidad central en el antiguo Egipto, un país que como ninguno percibió la centralidad del Sol en la vida humana. Nuevamente, debemos tener en cuenta que la distinción entre los planos religioso, filosófico-metafísico y científico-positivo (los famosos tres estadios del filósofo francés del siglo XIX Auguste Comte, que él veía como etapas sucesivas, lineales, en lugar de perspectivas que siempre han coexistido simultáneamente en la Historia), no se logró hasta bien entrada la Ilustración, por lo que

en la época de Copérnico, con la ciencia moderna en ciernes, todavía se utilizaban argumentos no-científicos en discusiones científicas.

Johannes Kepler es uno de los personajes más curiosos de la historia de la Ciencia, una particular mezcla de científico, metafísico y astrólogo que propició avances fundamentales en nuestra comprensión del Universo. El copernicanismo se había extendido rápidamente por los círculos intelectuales de Europa. El célebre filósofo y teólogo italiano Giordano Bruno (1548-1600), había adoptado el modelo de Copérnico dentro de un sistema metafísico que expuso en obras como *Del infinito universo y mundos*, donde defiende un cosmos infinito, sin centro, sin orden o jerarquía en los cuerpos celestes, en clara contraposición al esquema de Aristóteles y de Claudio Tolomeo. El Universo lo representaba como una especie de organismo vivo, con un alma que lo cubre todo, en una clara muestra de *panteísmo* (doctrina filosófica que sostiene que todo lo real es divino) místico, opuesto a la teología cristiana, que lo enemistó con la Iglesia Católica (y eso que Bruno era fraile dominico) y lo llevó a la muerte en la hoguera en Roma en 1600.

Si Giordano Bruno era más un filósofo que un científico, pero clave a la hora de entender la difusión de las teorías de Copérnico por Europa, Kepler es uno de los grandes de la historia de las ciencias físicas. Había nacido en la ciudad alemana de Weil der Stadt el 27 de diciembre de 1571. Su pueblo natal era mayoritariamente católico, aunque los Kepler habían abrazado el protestantismo. A los 13 años ingresó en el seminario de Alberg, donde aprendía un currículum muy parecido al que se enseñaba en la Edad Media, centrado en el estudio del latín, el griego, la Biblia, la música, la aritmética y la astronomía. Kepler se entusiasmó por la teología, afición que le acompañaría durante toda su vida, y pronto destacó por su excepcional inteligencia y capacidad de aprendizaje.

Como se puede apreciar, la formación de Kepler estaba diseñada para que nuestro genio se convirtiese en clérigo protestante, con amplios conocimientos de teología y de lenguas clásicas. Así, ingresó en la Universidad de Tubinga, una de las más prestigiosas de Alemania, especialmente en el ámbito reformado, donde han surgido muchas de las grandes escuelas filosóficas y teológicas. En el siglo XIX, allí estudiarían pensadores de la talla de Hegel y Schelling, en el culmen de la filosofía clásica alemana. Fue en Tubinga donde Kepler conoció la teoría de Copérnico, de manos de algunos de sus profesores.

Pero estando en Tubinga, Kepler recibió el ofrecimiento de convertirse en profesor de matemáticas y astronomía (ciencias en cuyo estudio había destacado en los primeros años en la universidad, ya que formaban parte del currículum general) en Graz, al sur de Alemania. Kepler aceptó, aunque de mala gana, porque tenía claro que quería ser clérigo. Era 1594.

En Graz, Kepler se obsesionó por la astrología: zodiacos, cartas astrales, la armonía en el Universo que él atribuía al plan de la inteligencia creadora de Dios... Con

el paso de los años, Kepler ascendió en el escalafón social y llegó a convertirse en matemático en la corte de Rodolfo II en Praga, donde trabajó a las órdenes de Tycho Brahe.

Entre cartas astrales y cálculos zodiacales, Kepler sacó tiempo para descubrir unas leyes físicas que habrían de depararle un lugar destacadísimo en la historia de la Ciencia: las célebres tres leyes de Kepler.

Como hemos dicho, tanto Tolomeo como Copérnico habían pensado que las órbitas de los cuerpos celestes eran circulares. Kepler, sin embargo, se dio cuenta de que la figura geométrica que mejor respondía a los datos observacionales sobre las órbitas de los astros no era la circunferencia, sino la *elipse*. Y es que el movimiento en un epiciclo, como los usados por Tolomeo, es a efectos geométricos equivalente al que se describiría a lo largo de una elipse. Una elipse queda representada por una ecuación del tipo: $r = \frac{a(1-e^2)}{1+e\cos\theta}$, siendo r la distancia desde el Sol, e la excentricidad de la elipse

(que marca, por así decirlo, cuánto se aleja la elipse de la circunferencia ideal), y θ el ángulo entre el eje mayor y la recta que une el Sol con el planeta. Lógicamente, Kepler ya ha asumido que los planetas, incluida la Tierra, orbitan alrededor del Sol, y no el Sol alrededor de la Tierra (sin esa asunción, difícilmente hubiera podido progresar la Ciencia). Esas órbitas son elipses en uno de cuyos focos se encuentra el Sol. ¡Los datos cuadraban! Con las órbitas elípticas, las diferencias entre los resultados previstos por la teoría y los hallados por la observación astronómica eran mínimas. Kepler había descubierto la verdadera “armonía del Universo”. Newton demostrará que las órbitas elípticas se deducen, en realidad, de la fuerza de la gravedad. ¡El genio científico integra los resultados antes parciales en principios más universales!

Pero la cosa no queda ahí. En segunda ley, Kepler estableció que “las áreas barridas por los radios vectores son iguales para tiempos iguales”. Esta formulación puede parecer abstrusa, pero esconde un importante principio de la física: la conservación del momento angular, es decir, del producto del momento lineal (masa x velocidad) y el radio vector de la trayectoria de ese cuerpo, en este caso un astro. Como la fuerza de atracción del Sol hacia el planeta tiene la misma dirección que el radio vector hacia el Sol, el momento de la fuerza (producto del radio y la fuerza) debe ser nulo. Y, puesto que matemáticamente, el momento de fuerza es la derivada del momento angular con respecto al tiempo, si $\vec{M} = 0 = \frac{d\vec{L}}{dt}$, para que una derivada sea nula, la magnitud derivada debe ser constante (la derivada de una constante es cero), por lo que el momento angular \vec{L} es constante, que es lo mismo que decir que las áreas barridas en tiempos iguales son iguales, justamente por la conservación del momento angular.

Y la tercera ley de Kepler es uno de los resultados más bellos de la física pre-newtoniana, fácilmente deducible luego de la ley de la gravedad de Newton, pero

que en la época de Kepler representaba un logro admirable. La llamada “ley de la armonía universal” (la armonía es algo que siempre subyugó la inquieta y sagaz mente de Kepler) sostiene que el cociente entre el cubo de la distancia media al Sol y el cuadrado del período orbital es constante: $\frac{r^3}{T^2} = \text{constante}$, siendo r el radio orbital y T el período orbital.

Nuevamente, tenemos que recordar que Kepler no empleaba estos razonamientos analíticos, porque ni se había desarrollado el cálculo infinitesimal (derivadas e integrales) ni la física teórica había alcanzado su expresión “definitiva” (al menos hasta Einstein y la mecánica cuántica) con Isaac Newton. Justamente por eso son aún más asombrosos y formidables los logros de Kepler. Por ejemplo, si Kepler hubiese tenido noticia de la ley de la gravedad, que formulará concisamente Newton en sus *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687), habría llegado a las tres leyes mucho más fácilmente (al menos a la primera y a la tercera). En el caso de la tercera ley, igualando la fuerza de gravedad a la fuerza centrípeta del planeta que describe una determinada órbita, se llega inmediatamente a su velocidad orbital, que puede expresarse en términos del período orbital y del radio orbital, para así concluir que la relación entre estas dos magnitudes es constante. Porque, como a la hora de juzgar el trabajo de Copérnico, visto *a posteriori* y con la distancia de los siglos, todo se antoja más sencillo. Pero si hoy nos parece sencillo es gracias a que grandes mentes, como las de Copérnico o Kepler, en su día afrontaron un problema sumamente difícil y descubrieron un camino tan elegante y certero que hoy nos resulta fácil.

4. Un titán de la Ciencia llamado Isaac Newton

Cuando le preguntaban al divulgador de la Ciencia nacido en Rusia pero afincado en Estados Unidos, Isaac Asimos, sobre quién había sido, a su juicio, el mayor científico de todos los tiempos, solía responder que si la pregunta se refiriese al segundo científico más importante de la Historia, lo tendría muy difícil: Einstein, Pasteur, Darwin, Galileo... Pero si la pregunta se refiere al primero, no le cabía duda: Isaac Newton. Newton no sólo es el más grande de los físicos junto con Einstein, sino uno de los mayores matemáticos que ha dado la Humanidad, justamente porque para hacer una gran teoría física es necesario tener una notable destreza matemática. A él le debemos la ley de la gravitación universal, un hito del pensamiento humano, la sistematización de los principios de la mecánica, el cálculo infinitesimal, descubierto con anterioridad e independencia del alemán Gottfried Wilhelm Leibniz (1646-1716) –otro de los mayores intelectos de la Historia-, contribuciones esenciales a la óptica...

Newton sella una de las etapas más cautivadoras de la Historia: la que comprende el nacimiento de la ciencia moderna, entre los siglos XVI y XVII. Si Copérnico había tratado de legar una nueva imagen del Cosmos, esa imagen entra en su madurez con Newton. Para defender la teoría de Copérnico, habría bastado con conocer

la ley de la gravitación universal (esa fuerza de atracción que ejercen dos cuerpos entre sí por el hecho de tener masa), pero para descubrir esa ley tuvieron que transcurrir siglos de intentos, fracasos, vueltas a empezar, hasta que la luz del genio de Newton desveló lo que hasta entonces eran arcanos secretos que la naturaleza ocultaba al hombre.

Isaac Newton nació a comienzos de enero de 1642 en un pueblecito inglés, Woolsthorpe. De pequeño le encantaban los artilugios mecánicos, y aunque no fue especialmente precoz, su tío vio que tenía una enorme facilidad para las matemáticas, y lo envió a la Universidad de Cambridge cuando Newton tenía 19 años. En Cambridge, su genio afloró de una manera descomunal y casi desconocida en la Historia. En cuestión de años, Newton se convirtió en una de las mentes más maravillosas de la Historia. Quizás la espléndida atmósfera de la campiña inglesa de Cambridge, o las sabias enseñanzas de su profesor Isaac Barrow, o la grandeza de la naturaleza que repentinamente nos sorprende con prodigios y portentos, la cuestión es que en 1666, cuando Cambridge tuvo que cerrarse a causa de la peste, Newton volvió a casa de su madre y allí tuvo su auténtico *annus mirabilis*. Descubrió que un rayo de luz, al atravesar un prisma, se divide en un espectro de colores distintos. Puede que sea una leyenda, pero se cuenta que observando la Luna, Newton se percató de que caía una manzana de un árbol. ¿Acaso no sería la misma la fuerza que mantenía atraída la Luna a la Tierra que la que forzaba a esa manzana a caer al suelo? *E si non é vero, é ben trovato*, que dirían los italianos, “si no es verdadero, está bien contado”. La cuestión es que de esa época procede su descubrimiento de la gravitación universal, que publicaría más tarde porque Newton, al igual que Copérnico, recelaba de las posibles críticas que se derivarían de sus trabajos científicos, y prefería guardarlos ocultos o mostrárselos sólo a sus amigos y allegados.

Y en 1687 publicó su obra más importante, los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, donde sistematizaba los principios de la Física. La ciencia moderna ya tenía un “acta fundacional”, que en sus rasgos esenciales no sería retocada hasta el siglo XX, con las dos grandes revoluciones del momento: la mecánica cuántica y la teoría de la relatividad.

Resumen

El triunfo de la teoría heliocéntrica de Copérnico no fue fácil. Había aún no sólo muchas reticencias culturales, filosóficas y religiosas a su modelo, sino, más aún, objeciones científicas de calado. El problema de fondo era que todavía no se habían puesto las bases de la ciencia de la mecánica. La Ciencia estaba naciendo, y Copérnico había sido uno de sus más ilustres impulsores.

Un astrónomo de la talla del danés Tycho Brahe (1548-1601), que efectuó descubrimientos tan importantes como el de una estrella nova, con ciclo de explosión e

implosión, volvió a un modelo geocéntrico revisado en el que los planetas giraban en torno al Sol, y todo el conjunto daba vueltas alrededor de la Tierra.

Un hecho fundamental en la historia de la astronomía fue la invención del telescopio a principios del siglo XVII. Galileo (1564-1642) fue el primero en usarlo ampliamente en la observación astronómica, descubriendo fenómenos como el de cuerpos que giraban en torno al planeta Júpiter (las famosas lunas de Júpiter), las fases de Venus o el de los cráteres en la Luna que rompían con la idea del filósofo griego Aristóteles, según la cual los espacios siderales eran perfectos e inmutables, y que hicieron de Galileo un convencido defensor de Copérnico. Galileo puso, además, las bases de la física moderna al articular adecuadamente observación y razonamiento matemático en la formulación de las hipótesis científicas.

El alemán Johannes Kepler descubrió, a principios del siglo XVII, tres célebres leyes que supusieron un paso de gigantes en la comprensión del movimiento de los astros. En lugar de órbitas circulares, como había mantenido prácticamente toda la tradición desde los griegos, ideó órbitas elípticas con el Sol en uno de los focos. Se dio cuenta de que los espacios barridos en tiempos iguales son iguales, y de que la relación entre el cubo de la distancia media al Sol y el cuadrado del período orbital es constante.

Con los *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica* (1687) del profesor de Cambridge Isaac Newton, la Ciencia alcanzaba una de sus cimas teóricas: la física clásica.

Palabras clave

Elipse: Curva cerrada, simétrica respecto de dos ejes perpendiculares entre sí, con dos focos, y que resulta de cortar un cono circular por un plano que encuentra a todas las generatrices del mismo lado del vértice.

Período: Número de oscilaciones por unidad de tiempo.

Radio: Línea recta tirada desde el centro del círculo de la circunferencia.

Aceleración en caída libre: g): aceleración que experimenta un cuerpo en las inmediaciones de la Tierra por efecto del campo gravitatorio terrestre.

Mecánica: Parte de la física que trata del equilibrio y del movimiento de los cuerpos sometidos a cualesquiera fuerzas.

Ley de la inercia (ley de Galileo, o primera ley de Newton): Ley física que afirma que cuerpo no sometido a fuerzas o cuya componente de fuerzas total es nula, permanece en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme.

Cálculo infinitesimal: Rama de la matemática integrada por el cálculo diferencial e integral, que trata del estudio de las diferencias infinitamente pequeñas en las cantidades variables y de cómo obtener estas cantidades variables a partir de esas diferencias.

Telescopio: Instrumento que permite ver agrandada la imagen de un objeto lejano.

CAPÍTULO 7. COPÉRNICO, EJEMPLO DE REVOLUCIONARIO

Como hemos señalado en las páginas anteriores, el legado de Copérnico no se limita sólo al plano científico. Es cierto que el astrónomo polaco está en el origen de la ciencia moderna, y que con su modelo heliocéntrico revolucionó nuestra visión del universo físico. Pero también es cierto que las sucesivas generaciones de filósofos, sociólogos y pensadores han visto en él al prototipo de revolucionario por antonomasia.

En el prólogo a la segunda edición de su *Crítica de la razón pura* (que publicó por primera vez en 1781), Immanuel Kant (1724-1804) escribe:

“Ocurre aquí como en los primeros pensamientos de Copérnico. Éste, viendo que no conseguía explicar los movimientos celestes si aceptaba que todo el ejército de estrellas giraba alrededor del espectador, probó si no obtendría mejores resultados haciendo girar al espectador y dejando las estrellas en reposo. En la metafísica se puede hacer un mismo ensayo en lo que atañe a la intuición de los objetos. Si la intuición tuviera que regirse por la naturaleza de los objetos, no veo cómo podría conocerse algo *a priori* sobre esa naturaleza. Si, en cambio, es el objeto (en cuanto objeto de los sentidos) el que se rige por la naturaleza de nuestra facultad de intuición, puedo representarme fácilmente tal posibilidad”.

¡Un digno émulo de Copérnico! En efecto. Si Copérnico se había visto obligado a modificar el centro del Universo para explicar adecuadamente los movimientos de los astros, Kant piensa que haciendo gravitar la realidad conocida en torno al sujeto que conoce, el problema de cómo es posible que al conocer, logremos conocer algo de modo necesario y certero, queda resuelto. Porque si no, ¿qué hace que nuestras experiencias sean verdaderamente universalizables, y no experiencias aisladas? ¿Qué sirve como principio unificador? Kant dirá que es el entendimiento, que se rige por una serie de reglas *a priori*, de conceptos *a priori*, es decir, previos a toda experiencia. El ser humano, con esa facultad de entender que posee de por sí y que está definida por unas “estructuras” anteriores a cualquier experiencia posible, consigue “asimilar”, “procesar” las experiencias de objetos externos a él. Es así como funciona nuestra comprensión: adecuando los objetos que nos son externos a nuestros “mecanismos” de entendimiento.

Otros filósofos anteriores a Kant habían supuesto que al conocer, los humanos nos limitamos a “abstraer” la realidad que nos es externa, o como mucho a representarnos imágenes de esa realidad. En el fondo, en los sistemas de pensamiento anteriores a Kant, de una u otra manera, era el sujeto el que gravitaba en torno al objeto, el ser humano en torno a la realidad, el “Sol” en torno a la “Tierra”. Pero Kant invierte los términos: ahora es la “Tierra” la que gira en torno al “Sol”, la realidad externa a nosotros en torno a nuestro entendimiento. Sólo así, prosigue Kant, se puede explicar

que de la experiencia de objetos particulares lleguemos a juicios más amplios, a juicios que conllevan necesidad y universalidad. El entendimiento humano unifica, mediante esos conceptos o categorías apriorísticas, las experiencias que recibe, haciéndolas pasar por sus “filtros”. Es lo que el mismo Kant denominó *revolución copernicana*. Y es que la *Crítica de la razón pura* de Kant ha sido tan determinante en el curso de la historia de la Filosofía, como el *De Revolutionibus Orbium Coelestium* de Copérnico lo fue en el de la Ciencia.

En el siglo XX marcó época un libro que llevaba por título *La estructura de las revoluciones científicas*, escrito por el historiador y filósofo de la Ciencia estadounidense Thomas Kuhn (1922-1996). Kuhn publicó su obra en 1962, cuando era profesor en la prestigiosa Universidad de Berkeley, en California.

¿Por qué era tan importante la obra de Kuhn? Sencillamente porque contenía una nueva visión sobre el progreso de las ciencias, que contrastaba con la del también filósofo e historiador de la Ciencia, Karl Popper (1902-1994). Popper creía que las teorías científicas cambian (unas dejan de estar vigentes y dan el paso a otras) en base a un procedimiento de *falsación*: nunca se puede probar que una teoría sea totalmente correcta, porque en cuanto se encuentre un solo caso que la desmienta, habrá que abandonarla y buscar otra mejor. Toda teoría, en este sentido, está sujeta a una cierta provisionalidad: no se puede verificar, sino “falsar”, hallar una situación en la que no se cumpla para así demostrar que es errónea. ¡Qué arduo es el progreso científico! Uno puede idear una teoría genial, como el heliocentrismo de Copérnico, la mecánica de Newton o la relatividad de Einstein, pero con una única excepción a sus predicciones, esa teoría estará equivocada. Es mucho más fácil refutar una teoría que verificarla. De hecho, para Popper es imposible verificar ninguna teoría científica.

Pero Kuhn tiene otra visión del progreso de la Ciencia. Popper era excesivamente “racionalista”, muy preocupado por las exigencias lógicas de validez de una teoría científica. A Kuhn le interesan más los factores históricos y sociológicos que han llevado, a lo largo de los años, a aceptar o rechazar una u otra teoría. ¡Kuhn escribe en los años '60, en los que se estaba produciendo una auténtica revolución en la sociología y en la psicología! Los rígidos esquemas del racionalismo y del positivismo resultaban enormemente estrechos para la sensibilidad de la época. El sistema de Popper era muy lineal, como si la Ciencia fuese una sucesión de conocimientos acumulados vía refutaciones.

Por ello, en *La estructura de las revoluciones científicas*, Kuhn propone que la Ciencia no progresa de forma lineal, sino que experimenta ciclos, “paradigmas”, modelos de comprensión del Universo, según las etapas históricas que atravesase. Esos paradigmas generan una “ciencia normal”, un modelo científico que todo el mundo acepta en ese momento y que parece el único posible o, cuanto menos, el más sensato. Los científicos se limitan a profundizar en ese paradigma, a ampliarlo, a extenderlo, a mejorarlo... pero los fundamentos permanecen. De repente, se producen cambios abruptos, revoluciones, crisis motivadas por anomalías, que modifican ese paradigma y

lo sustituyen por otro. Y así sucesivamente. La historia de la Ciencia no es la de una línea recta de conocimientos acumulados, sino una sucesión de ciclos, como una espiral. Más que de progreso científico, habría que hablar entonces de cambios en nuestros esquemas de entender el mundo físico. O, en otras palabras, según el tiempo histórico que nos toca vivir “miramos” de una manera u otra al universo, y por eso tenemos unas u otras teorías científicas, ya que la Historia, la cultura y la sociedad en que vivimos nos pone una especie de “antifaz” desde el que dirigir nuestros ojos a la naturaleza.

Y, claro está, esos paradigmas son inconmensurables: es inútil tratar de juzgar un paradigma a la luz de otro, porque operan con conceptos y reglas distintas, al igual que es sumamente arriesgado juzgar una época a la luz de otra (aunque, dicho sea de paso, no imposible).

En cualquier caso, el ejemplo de revolución abrupta y de cambio de paradigma por excelencia que ofrece Kuhn en su libro es el de Copérnico. ¡Copérnico otra vez! Los astrónomos aceptaron el modelo geocéntrico de Claudio Tolomeo durante siglos. Las nuevas observaciones (los datos que Tolomeo desconocía cuando elaboró su *Almagesto*) eran sometidas a los postulados y principios de Tolomeo, a sus ciclos y epiciclos, a su esquema de una Tierra estacionaria en el centro del Universo.

Así, hasta que llegó Copérnico, que “rompió” el modelo de Tolomeo., y gracias a que científicos de la talla de Galileo y Kepler le siguieron, al final se acabó gestando un nuevo paradigma, el de la ciencia moderna. La revolución que inició Copérnico no fue, simplemente, un cambio de imagen cosmológica, pasando de considerar al Sol y no a la Tierra como centro del Universo. Obligó a reformular los conceptos esenciales de la física: movimiento, fuerza, velocidad... Obligó, en definitiva, a formular una nueva física distinta de la de Aristóteles y Claudio Tolomeo. Pero sólo unos pocos, como Copérnico, tienen la valentía de afrontar esa necesaria revolución y de proponer un nuevo paradigma.

No es difícil darse cuenta de que una de las principales acusaciones que se han lanzado contra Kuhn es la de relativismo científico, porque si esos “paradigmas” son inconmensurables, ¿por qué uno es mejor que otro? ¿Simplemente porque encaja mejor con la mentalidad de una época? ¿Acaso no se pueden buscar criterios más racionales y menos sociológicos e históricos? ¿Es o no verdad que la Tierra gira en torno al Sol y no al revés?

Lo innegable es que Copérnico ha dado, y seguirá dando, mucho que hablar... y que escribir.

Resumen

Copérnico ha pasado a la Historia no sólo como uno de los astrónomos más importantes de todos los tiempos, que con su modelo heliocéntrico cambió nuestra manera de comprender el Universo, sino como prototipo de revolucionario.

El célebre filósofo alemán Immanuel Kant (1724-1804) comparó su obra filosófica con la “revolución copernicana”, al sostener que al igual que Copérnico había tenido que quitar la Tierra del centro del Universo para poner al Sol, él tenía que partir de la subjetividad humana y del modo en que conoce la realidad, en lugar de partir de la propia realidad.

Más recientemente, el filósofo de la ciencia norteamericano Thomas Kuhn, en su libro *La estructura de las revoluciones científicas* (1962), sitúa la obra de Copérnico como ejemplo por antonomasia de cómo funcionan las revoluciones científicas: se pasa de un período de ciencia normal, comúnmente aceptada por todos y que configura un paradigma, a una ruptura abrupta que inaugura otro período de ciencia normal. Ambos paradigmas resultan, dice Kuhn, inconmensurables, por cuanto parten de principios y de conceptos distintos.

Todo ello no hace sino confirmar la influencia científica, cultural y sociológica de Copérnico.

Palabras clave

Formas ‘a priori: en la filosofía de I. Kant (1724-1804), el espacio y el tiempo son formas ‘a priori’ de la sensibilidad porque no puedo conocer la realidad exterior a mí sin concebirla como realidad espacial y temporal. Espacio y tiempo, por tanto, no son conceptos que se extraigan de la experiencia, sino categorías propias de nuestro entendimiento.

Ciencia normal: en la filosofía de Thomas Kuhn, la ciencia normal es el paradigma científico comúnmente aceptado en un determinado período, y raramente cuestionado.

Paradigma: conjunto de ideas y prácticas que determinan una cosmovisión

Revolución científica: en la filosofía de Thomas Kuhn, una revolución científica es una ruptura con un período de ciencia normal, mediante la cual se inaugura un nuevo paradigma.

CRONOLOGÍA

19 de febrero de 1473: nacimiento de Copérnico en Torún, Polonia

1489: Elección de Lucas Watzenrode, tío materno de Copérnico, como obispo de Warmia.

1491: Copérnico ingresa en la Academia de Cracovia.

1492: Descubrimiento de América.

1496: Copérnico inicia sus estudios de Derecho en la Universidad de Bolonia, Italia.

1497: Copérnico es nombrado canónico de Frauenburg (Frombork).

1503: Copérnico obtiene el doctorado en Derecho Canónico por la Universidad de Ferrara, Italia, y el permiso para practicar la medicina.

1512: Copérnico jura fidelidad al rey Segismundo I de Polonia.

1513: Copérnico hace una propuesta de reforma del calendario, ante las peticiones del V Concilio de Letrán.

1517: El monje agustino Martín Lutero cuelga sus 95 tesis en la puerta de la catedral de Wittenberg, dando origen a la Reforma protestante.

1519-1520: Guerra entre los Caballeros de la Orden Teutónica y Polonia.

1521: Dieta de Worms. Lutero visita al Emperador Carlos V, sin alcanzar acuerdo.

1523: Copérnico es nombrado administrador general de la diócesis de Warmia.

1527: Las tropas del Emperador Carlos V saquean Roma.

1538-1539. Copérnico es acusado de vivir en concubinato con su ama de llaves.

1539: Visita de Rheticus (Georg Joachim von Lauchen), matemático de Wittenberg, a Copérnico.

1541: Copérnico entrega a Rheticus el manuscrito de su *De Revolutionibus Orbium Coelestium*.

1543: Se publica en Nürenberg el *De Revolutionibus Orbium Coelestium*.

21 de mayo de 1543: Copérnico muere en Frauenburg (Frombork).

APÉNDICE: ÍNDICE DEL CONTENIDO DE LOS TRES PRIMEROS LIBROS DEL *DE REVOLUTIONIBUS ORBIUM COELESTIUM* (tal y como aparecen en la edición digital de la Universidad Jagelloniana)

LIBRO I

1. El Universo es esférico
2. También la Tierra es esférica.
3. Cómo la Tierra forma una única esfera con el agua
4. El movimiento de los cuerpos celestes es uniforme, eterno y circular o compuesto de movimientos circulares.
5. ¿Es el movimiento circular adecuado para la Tierra? ¿Cuál es su posición?
6. La inmensidad de los cielos comparada con el tamaño de la Tierra
7. Por qué los antiguos pensaron que la Tierra permanecía en reposo en el centro del Universo como su centro.
8. Lo inadecuado de los argumentos anteriores y la refutación de los mismos.
9. ¿Pueden atribuirse distintos movimientos a la Tierra? El centro del Universo.
10. El orden de las esferas celestes.
11. Prueba del triple movimiento de la Tierra.
12. Líneas rectas subtendidas en un círculo.
13. Los lados y ángulos de los triángulos rectilíneos planos.
14. Triángulos esféricos.

LIBRO II

1. Las circunferencias y sus nombres.
2. La oblicuidad de la eclíptica, la distancia entre los trópicos, y el método para determinar estas cantidades.

3. Los arcos y ángulos de las intersecciones del ecuador, eclíptica y meridiano; derivación de la declinación y de la ascensión recta desde estos arcos y ángulos, y el cómputo de los mismos.
4. Para cada cuerpo celeste situado fuera de la eclíptica, si se conocen la latitud y la longitud de los cuerpos, el método para determinar su declinación, su ascensión recta, y el grado de la eclíptica con el que alcanza el medio del cielo.
5. La intersección del horizonte.
6. Las diferencias en las sombras del mediodía.
7. Cómo derivar el uno del otro el día más largo, la distancia entre los amaneceres, y la inclinación de la esfera; las diferencias restantes entre días.
8. Las horas y las partes del día y de la noche.
9. La ascensión oblicua de los grados de la eclíptica; cómo determinar qué grado está en el medio del cielo cuando cualquier ángulo se está elevando.
10. El ángulo al que la eclíptica intersecta el horizonte.
11. Uso de estas tablas [tabla de las ascensiones de los signos zodiacales en la revolución de la esfera recta; tabla de las ascensiones en la esfera oblicua; tabla de los ángulos generados por la eclíptica con el horizonte].
12. Los ángulos y arcos de los círculos dibujados a través de los polos del horizonte de la eclíptica.
13. El nacimiento y la puesta de los cuerpos celestes.
14. La investigación de las posiciones de las estrellas, y la ordenación de las estrellas fijas en un catálogo.

LIBRO III.

1. La precesión de los equinoccios y solsticios.
2. Historia de las observaciones que demuestran que la precesión de los equinoccios y solsticios no es uniforme.
3. Hipótesis por las cuales pueden demostrarse el desplazamiento en los equinoccios y en la oblicuidad de la eclíptica y del ecuador.

4. **Cómo se construye un movimiento oscilatorio o un movimiento en libración a partir de [movimientos] circulares.**
5. **Prueba de la no-uniformidad en la precesión de los equinoccios y en la oblicuidad.**
6. **Los movimientos uniformes de la precesión de los equinoccios y de la inclinación de la eclíptica.**
7. **¿Cuál es la mayor diferencia entre la precesión uniforme y la aparente de los equinoccios?**
8. **Las diferencias individuales entre estos movimientos, y una tabla que muestra esas diferencias.**
9. **Revisión y corrección de la discusión sobre la precesión de los equinoccios.**
10. **¿Cuál es la mayor variación en las intersecciones del ecuador y de la eclíptica?**
11. **Determinación de las épocas de los movimientos uniformes de los equinoccios y la oblicuidad.**
12. **Cálculo de la precesión del equinoccio vernal y la oblicuidad.**
13. **Longitud y no-uniformidad del año solar.**
14. **Movimientos uniformes y medios en las revoluciones del centro de la Tierra. [contiene seis tablas].**
15. **Teoremas preliminares para demostrar la no-uniformidad del movimiento aparente del Sol.**
16. **La no-uniformidad aparente del movimiento del Sol.**
17. **Explicación de la desigualdad solar primera y anual, junto con sus variaciones particulares.**
18. **Análisis del movimiento uniforme en longitud.**
19. **Para establecer las posiciones y épocas del movimiento uniforme del Sol.**
20. **La segunda y doble desigualdad que el desplazamiento de los ápsides impone sobre el Sol.**
21. **¿Cuánto mide la segunda variación en la desigualdad solar?**

- 22. Cómo se derivan los movimientos uniformes y no uniformes de los apogeos solares.**
- 23. Para determinar la anomalía solar y establecer sus posiciones.**
- 24. Presentación tabular de las variaciones en los [movimientos solares] uniforme y aparente.**
- 25. Para computar el Sol aparente.**
- 26. El *Nuchthemeron*, esto es, el día natural variable.**

BIBLIOGRAFÍA

Obras de Copérnico

De hypothesibus motuum coelestium a se constitutis commentariolus (1514?)

De Lateribvs Et Angvlis Triangulorum, tum planorum rectilineorum, tum Sphaericorum, libellus eruditissimus & utilissimus [Microforma] : cum ad plerasque Ptolemaei demonstrationes intelligendas, tum uero ad alia multa / scriptus à Clarissimo & doctissimo uiro D. Nicolao Copernico Toronensi ; Additus est Canon semissium subtensarum rectarum linearum in Circulo. München : Saur, 1990

Monetae Cudendae Ratio (1526)

De Revolutionibus Orbium Coelestium (1543)

Obras sobre Copérnico

Hoyle, F., *De Stonhenge a la cosmología contemporánea; Nicolás Copérnico. Un ensayo sobre su vida y su obra*, Madrid, Alianza, 1976.

García Hourcade, J.L. *La rebelión de los astrónomos: de Copérnico a Kepler*, Madrid, Nivela, 2000.

Espoz, R., *Un conflicto en el origen de la ciencia moderna: Copérnico u Osiander*, Santiago de Chile, Editorial Universitaria, 1989.

Asimov, I. *Momentos estelares de la Ciencia*, Madrid, Alianza Editorial, 1988.

Kuhn, K. *La estructura de las revoluciones científicas*, México, Fondo de cultura económica, 1978.

COPÉRNICO EN LA RED

Copernicus
and.ac.uk/~history/Mathematicians/Copernicus.html

Summary:

www-groups-dcs.st-

Museo de Copérnico en Frombork (Frauenburg): www.frombork.art.pl/Ang01.htm

Es interesante, a modo de síntesis, el artículo sobre Copérnico en la wikipedia inglesa (www.wikipedia.org)

El manuscrito digital completo del *De Revolutionibus Orbium Coelestium* se encuentra editado por la Universidad Jagelloniana de Polonia, en

www.bj.uj.edu.pl/bjmanus/revol/titlpg_e.html

La Standford Encyclopaedia of Philosophy dedica a Copérnico un artículo sintético en: <http://plato.stanford.edu/entries/copernicus/>

GLOSARIO

Aceleración en caída libre: g): aceleración que experimenta un cuerpo en las inmediaciones de la Tierra por efecto del campo gravitatorio terrestre.

Asíntota: función matemática que en determinados valores tiende al infinito, aproximándose indefinidamente a los ejes pero sin llegar a cortarlos.

Cálculo infinitesimal: Rama de la matemática integrada por el cálculo diferencial e integral, que trata del estudio de las diferencias infinitamente pequeñas en las cantidades variables y de cómo obtener estas cantidades variables a partir de esas diferencias.

Canónigo: Miembro del capítulo de una catedral. Copérnico fue canónigo aun sin ser sacerdote, ya que se trata de un cargo jurídico, no sacramental.

Ciencia normal: en la filosofía de Thomas Kuhn, la ciencia normal es el paradigma científico comúnmente aceptado en un determinado período, y raramente cuestionado.

Deferente: Aplícase al círculo que se suponía descrito alrededor de la Tierra por el centro del epiciclo de un planeta.

Derecho Canónico: Conjunto de normas que rigen en la Iglesia Católica. Aunque, formalmente, el primero Código de Derecho Canónico data de 1917, durante la Edad Media se hicieron amplias compilaciones de leyes eclesiásticas.

Eclíptica: Círculo máximo de la esfera celeste, señalando el curso aparente del Sol durante el año.

Ecuador: Círculo máximo que se considera en la esfera celeste, perpendicular al eje de la Tierra.

Elipse: Curva cerrada, simétrica respecto de dos ejes perpendiculares entre sí, con dos focos, y que resulta de cortar un cono circular por un plano que encuentra a todas las generatrices del mismo lado del vértice.

Epiciclo: Círculo que se suponía descrito por un planeta alrededor de un centro que se movía en el deferente.

Equinoccio: época en la que, por hallarse el Sol sobre el ecuador, los días son iguales a las noches en toda la Tierra,.

Formas ‘a priori: en la filosofía de I. Kant (1724-1804), el espacio y el tiempo son formas ‘a priori’ de la sensibilidad porque no puedo conocer la realidad exterior a mí sin concebirla como realidad espacial y temporal. Espacio y tiempo, por tanto, no son

conceptos que se extraigan de la experiencia, sino categorías propias de nuestro entendimiento.

Fundamentalismo bíblico: modo de leer la Biblia de manera literal, como si cada palabra y cada sentencia tuviesen que ser entendidas tal y como aparecen escrita, obviando el momento, el lugar y el contexto en que se redactó. Basándose en ciertos pasajes bíblicos, algunos autores criticaron el heliocentrismo, sin duda guiados por una interpretación fundamentalista de los texto y no siempre por argumentos científicos.

Geocentrismo: teoría astronómica que afirma que es la Tierra la que permanece inmóvil, girando el Sol y los planetas a su alrededor.

Heliocentrismo: teoría astronómica que sostiene que el Sol permanece inmóvil, girando la Tierra a su alrededor.

Hipótesis: Enunciado científico que intenta explicar un fenómeno determinado en base a razonamientos teóricos y evidencias experimentales, a la espera de ser confirmado o refutado.

Humanismo: doctrina filosófica y ética que afirma la centralidad del ser humano en la naturaleza y su autonomía. Adquiere auge en el contexto del Renacimiento.

Ley de la inercia (ley de Galileo, o primera ley de Newton): Ley física que afirma que cuerpo no sometido a fuerzas o cuya componente de fuerzas total es nula, permanece en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme.

Mecánica: Parte de la física que trata del equilibrio y del movimiento de los cuerpos sometidos a cualesquiera fuerzas.

Mecenas: Persona que pone su influencia y sus recursos económicos a disposición del cultivo de las artes y las ciencias.

Método científico: procedimientos que, conjugando observación experimental y razonamiento teórico, llevan a la formulación de hipótesis para tratar de explicar los fenómenos naturales.

Navaja de Ockham (Ockham's razor): principio formulado por el teólogo y monje franciscano inglés del siglo XIV, Guillermo de Ockham, y que afirma que “los entes no deben multiplicarse más allá de lo necesario”. En terminología moderna, equivaldría a sostener que la explicación más sencilla (la que requiere de menos supuestos) es siempre preferible a la más compleja. Está en la base del moderno método científico.

Obispo: Cabeza de la Iglesia en una determinada diócesis.

Órbita: Trayectoria que, en el espacio, recorre un cuerpo sometido a la atracción gravitatoria ejercida por los astros.

Paradigma: conjunto de ideas y prácticas que determinan una cosmovisión

Período: Número de oscilaciones por unidad de tiempo.

Pitagóricos: seguidores del célebre matemático y filósofo griego Pitágoras, famoso por el teorema que lleva su nombre (en un triángulo rectángulo, la suma de los catetos al cuadrado es igual a la hipotenusa al cuadrado), que también formuló una doctrina que señalaba la importancia de los números en naturaleza (para muchos, un precedente de la matematización de la Ciencia). Los pitagóricos constituían una especie de comunidad, con reglas morales y prácticas características.

Precesión: Movimiento retrógrado de los puntos equinocciales o de intersección del ecuador con la eclíptica, en virtud de la cual se anticipan un poco de año en año las épocas de los equinoccios o el principio de las estaciones

Radio: Línea recta tirada desde el centro del círculo de la circunferencia.

Reforma: acontecimiento religioso en el seno del Cristianismo y que, protagonizado por Martín Lutero, Zuinglio y Calvino, rompía con la autoridad de la Iglesia de Roma y pretendía una vuelta al Evangelio por encima de tradiciones y jerarquías. Algunos de sus principios teológicos fundamentales serán la afirmación de la primacía de la Sagrada Escritura sobre la Tradición (*sola Scriptura*) o la justificación del hombre por la fe y no por las obras. Numerosas Iglesias y comunidades eclesiales actuales tienen sus orígenes en este movimiento del siglo XVI.

Renacimiento: movimiento cultural surgido en Italia que, en el ocaso de la Baja Edad Media, proponía una vuelta a los cánones artísticos del mundo clásico (Grecia y Roma). Frente al teocentrismo medieval, el Renacimiento preferirá la perspectiva antropocéntrica, siendo el ser humano el centro de su reflexión.

Retrogradación: Fenómeno por el cual ciertos planetas, en lugar de mantener una trayectoria constante, repentinamente retrocedía, cambiando el sentido de su movimiento. Difícilmente explicable por el modelo geocéntrico de Tolomeo, Copérnico logró dar razón de ello al suponer que si la Tierra y otros planetas como Marte se desplazaban alrededor del Sol, al moverse la Tierra a mayor velocidad que Marte, la Tierra acabaría adelantándolo, lo que, aparentemente, se traduciría en un movimiento de retrogradación.

Revolución científica: en la filosofía de Thomas Kuhn, una revolución científica es una ruptura con un período de ciencia normal, mediante la cual se inaugura un nuevo paradigma.

Solsticio: Época en la que el Sol se halla en uno de los dos trópicos.

Telescopio: Instrumento que permite ver agrandada la imagen de un objeto lejano.

ÍNDICE ANALÍTICO

| | |
|------------------------|-------------------|
| Albinoni | Desiderio Erasmo |
| Alfonso X | Donatello |
| Aquino, Santo Tomás de | Durant |
| Aristarco de Samos | Eco |
| Aristóteles | Einstein |
| Arquímedes | Elipse |
| Asimov | Epiciclo |
| Asíntota | Felipe II |
| Bach | Filolao |
| Bacon | Freud |
| Baronio | Galileo |
| Barrow | Geocentrismo |
| Bellarmino | Goethe |
| Bocaccio | Gutenberg |
| Brahe | Heliocentrismo |
| Brudzewski | Hoyle |
| Bruno | Hubble |
| Cálculo infinitesimal | Humanismo |
| Calvino | Inercia |
| Cisneros | Kant |
| Copérnico, Andreas | Kepler |
| Copérnico, Bárbara | Kuhn |
| Copérnico, Nicolás | Leewenhoek |
| Dante | Leibniz |
| Darwin | Leonardo da Vinci |

| | |
|---------------------|---------------------|
| Lutero | Telescopio |
| Marco Polo | Tiese |
| Melanchton | Tolomeo |
| Miguel Ángel | Valla |
| Momento angular | Vivaldi |
| Momento de fuerza | Watzenrode, Barbara |
| Montesquieu | Watzenrode, Bárbara |
| Müller | Watzenrode, Lucas |
| Newton | Watzenrode, Lucas |
| Noara | Werner |
| Ockham | Wojtila |
| Osiander | Zuinglio |
| Paulo III | |
| Petrarca | |
| Pitágoras | |
| Pope | |
| Popper | |
| Rafael | |
| Recarde | |
| Regiomontano | |
| Renacimiento | |
| Retrogradación | |
| Rheticus | |
| Sacrobosco | |
| Schönberg | |
| Seleuco de Seleucia | |
| Stifel | |

