

El aporte de Copérnico a la cosmología de su tiempo*

CARLOS JUAN LAVAGNETO

Observatorio Astronómico, La Plata

Resumen: Se muestra que el significado de la revolución heliocéntrica no puede ser establecido por la comparación de los recursos matemáticos empleados por Ptolomeo y Copérnico. Copérnico no sólo puso la Tierra en movimiento sino también: 1) los planetas puntiformes en órbitas alrededor de un planeta discoidal (el Sol), y 2) al otro planeta discoidal en órbita alrededor de la Tierra. Estas distinciones morfológicas y topológicas dieron comienzo —decimos nosotros— a la cadena de centros subsistemados de movimientos cuyo extremo lejano se discute hoy.

Abstract: It is shown that the meaning of the heliocentric revolution cannot be established by a comparison of the mathematical resources of Ptolemy and Copernicus. Copernicus not only put the Earth in movement, but also: 1) put the point-like planets in orbit around a disk-like planet (the Sun), and 2) the other disk-like planet (the Moon) around the Earth. These morphological and topological distinctions started, we say, the chain of subsistemated centers of movements whose distant end we are discussing nowadays.

En los últimos años se comprueba la existencia de una crítica histórica que tiende a disminuir el papel que en la revolución heliocéntrica desempeñaron Copérnico y Galileo. El rasgo más saliente de esa tendencia es —curiosamente— la despreocupación por las condiciones históricas concretas que rodearon cada caso. Es típico el trabajo que O. Neugebauer (1968) ha publicado bajo el título "On the planetary theory of Copernicus" para ratificar su posición ya expuesta en "The exact sciences in antiquity"¹ (1957). Centramos el análisis en este autor —aunque Price y Kuhn también han puesto su parte— debido a la erudición técnica con la cual Neugebauer quiere hacer potable al público astronómico una tesis injusta para con Copérnico y muy perjudicial para la solución del problema cosmológico actual.

El comienzo del artículo de Neugebauer es muy humilde y formalmente inobjetable. Señala que según A. Koyré el abandono del ecuanismo por parte de Copérnico "da la medida de su genio matemático". Pero, observa nuestro autor, en el siglo XVII Viète había calificado a Copérnico "Más un maestro de los dados que de la profesión (matemática)", afirmando además que toda la obra de Copérnico es una paráfrasis de la ptolomeica. Según Neugebauer, la discrepancia entre Koyré y Viète expresa sus respectivos tiempos,² antinomia de la cual él promete desentenderse para ocuparse —dice— sólo de los logros y habilidades matemáticas de Copérnico, cuyos recursos —insiste— han sido to-

mados del Almagesto y de ciertos autores islámicos. Y abandonando la humildad nos anuncia un enfoque "no desde el punto de vista de los principios filosóficos, sino de la matemática elemental" (*sic*) para agregar: "La identidad básica de los métodos copernicanos con los islámicos no necesita ningún énfasis especial en cada caso individual. La lógica matemática de estos métodos es tal que el problema puramente histórico del contacto o la transmisión, como opuesto al descubrimiento independiente, resulta más bien secundario. Como he dicho antes, todo esto podría (o más bien debería) ser bien conocido. Que de hecho no lo sea no precisa ninguna documentación".

Aquí nosotros queremos recordar circunstancias copernicanas que *debieran ser bien conocidas* y que, pareciendo no serlo —por lo visto— *precisan alguna documentación*. Con tanto mayor motivo, cuanto que Neugebauer ratifica su severidad al término del artículo, donde "la teoría copernicana es sólo una transformación formal de la teoría ptolomeica", donde se explica que a Viète "uno de los líderes en la nueva tendencia de la matemática debe haberle parecido más bien anticuado que Copérnico una y otra vez demostrara por cálculo numérico que su modelo concordaba con el de Ptolomeo"; donde además se niegan las simplificaciones alegadas en favor del copernicanismo, pues su "teoría solar es definitivamente un paso en la dirección equivocada"; por todo lo cual, termina Neugebauer, "si no hubiese sido por Tycho Brahe y Kepler, el sistema copernicano habría contribuido a la perpetuación del sistema ptolomeico en una forma levemente más complicada pero más agradable para mentes filosóficas".³

Facilitaremos la exposición concediendo a Neugebauer toda la identidad posible en los recursos *matemáticos* de Ptolomeo y Copérnico. Deberemos entonces preguntarnos qué vieron en Copérnico sus seguidores y continuadores, particularmente Bruno, Galileo y Kepler. Vamos a mostrar que éstos conocían lo que Neugebauer pasa por alto, a saber: la naturaleza del problema cosmológico de su tiempo, problema para cuya solución Copérnico hace su aporte. De cuál sea esa naturaleza tenemos numerosos indicios en autores anteriores y posteriores al sabio de Torun.

Por ejemplo, desde Eudoxo hasta Ptolomeo la primera exigencia de la teoría planetaria fue explicar las irregularidades o anomalías de los astros llamados precisamente errantes. Lo vemos en el Libro II del aristotélico "Acercas del Cielo";⁴ en el Libro VII de las Cuestiones Naturales de

Séneca,⁵ en un famoso pasaje de Gemino⁶ (siglo I a.n.e.) y en el Capítulo VI del Almagesto,⁷ donde se presenta la traslación terrestre como una alternativa para explicar las irregularidades de los planetas.

No hay lugar a dudas, entonces: el problema cosmológico consistía en averiguar si los astros tenían o no un centro de movimiento distinto del centro terrestre. Aristóteles lo rechaza apoyado en su física (los cuerpos graves se mueven hacia el centro del Todo) y Ptolomeo seguirá ese camino, pues las excelencias de su teoría matemática no vienen sino después de haber descartado el movimiento de la Tierra por ser inobservables sus consecuencias. Pero la tenacidad del problema cosmológico se manifiesta en que a pesar de la matemática ptolomeica, Nicolás de Cusa afirma en el siglo XV que la Tierra no puede carecer de movimiento *porque no puede ser el centro* (Capítulo XI de *De la docta ignorancia*).⁸ Aquí se manifiesta —decimos nosotros— el uso de Aristóteles *contra Aristóteles* que Copérnico empleará también, haya conocido o no la obra del cardenal cusano.

Es fundamental comprender que todos los esfuerzos en favor de la traslación terrestre se realizan a pesar de que se carece de una doctrina justa acerca del movimiento en general, la cual sólo aparece con Galileo y Newton. Por eso la táctica copernicana consistirá en mostrar: sea que no hay contradicción con Aristóteles, sea que se obtiene un mejor acuerdo (con los principios del movimiento circular y uniforme) si se adopta el heliocentrismo. Prueba de ello es la dedicatoria al papa Paulo III⁹ y el capítulo VIII¹⁰ del Libro I del *De Revolutionibus*. En la primera alude a la inconsecuencia que supone el ecuante, y en el segundo señala que los efectos que Ptolomeo teme del movimiento terrestre debería también temerlos del movimiento de la esfera de las fijas.

En otros términos: así como los geocentristas subordinaban la solución del problema planetario a una dada doctrina física, el copernicanismo preconizó la solución conceptualmente más sencilla para el movimiento planetario,¹¹ subordinando a ella la teoría del movimiento en general. Esto resulta patente desde el momento que explícitamente Copérnico reconoce a la Tierra como centro de la gravedad y del movimiento lunar, con lo cual admite en el universo por lo menos *dos* centros y por tanto la posibilidad de que todos los astros sean centros atractivos. Esta negación tácita de la doctrina aristotélica del centro único nosotros la valoramos de la mayor importancia (aunque soslayada habitualmente) porque indica una gran coherencia con la crítica al ecuante¹² y —por lo tanto— la preferencia de Copérnico por centros reales para los movimientos llamados perfectos.

El procedimiento que señalamos (subordinación de la doctrina del movimiento a la cosmología) lo vemos culminar en Galileo cuando en *Dialogo dei Massimi Sistemi*, Tercera Jornada,¹⁸ coloca en primer término la necesidad de describir los movimientos planetarios, sus irregularidades, “a satisfacción y contentamiento del astrónomo filósofo” y no sólo del “astrónomo puro calculador”. Tiene una abrumadora fuerza convincente el que Galileo escriba esto luego

de sus descubrimientos telescópicos. El *debió* ver en el sistema de Júpiter no sólo una extraordinaria e importante analogía morfológica con el sistema planetario (de Copérnico) sino también un tercer centro de movimiento que justificaba la introducción copernicana de una pluralidad de centros gravitantes.¹⁴

Afirmamos que era ésa una hipótesis excesivamente audaz para ser defendida (*contra* Aristóteles) al margen de sus beneficios prácticos, por lo cual Copérnico se propone calcular los movimientos planetarios con los recursos matemáticos de su tiempo para mostrar que pueden obtenerse resultados no peores que los de Ptolomeo si se adoptan dos centros de movimiento para los astros errantes (Sol, Luna y demás planetas). Que este propósito hipotético pudo ser tenido en vista lo verificamos al verlo culminar con relativa facilidad en Erasmo Reinhold de Wittenberg quien calcula y publica (apoyándose en el *De Revolutionibus*) las llamadas Tablas Pruténicas que reemplazan desde 1551 a las Tablas Alfonsinas. Es significativo que las tablas de Reinhold sólo serán superadas en 1622 por las rudolfinas de Kepler.¹⁵

Así, pues, contra lo que supone Neugebauer, Copérnico no tenía que demostrar ninguna originalidad matemática, sino que el heliocentrismo (incluida su pluralidad de centros) era una hipótesis eficaz compatible con los recursos calculísticos de la época. Para ello no bastaba comparar los propios resultados con los de Ptolomeo, sino también con los exigidos por las observaciones acumuladas hasta entonces. Si Copérnico necesitó 34 movimiento circulares, su contemporáneo Fracastoro, en una obra dedicada también a Paulo III introducía 79 para respetar la teoría de Ptolomeo.

Que nuestra hipótesis es la correcta nos lo indican los sucesores de Copérnico, quienes tenían más elementos de juicio que el propio autor del *De Revolutionibus*. Quiero decir, la impresión que parecen haber recibido de esta obra no se fundaba en su estructura matemática. Por ejemplo, en el *Misterio Cosmográfico* (1596) Kepler adopta el heliocentrismo para averiguar por qué los planetas se encuentran donde se hallan, y al observar el contraste entre la innumerable cantidad de estrellas fijas y el número bien definido de planetas, se pregunta si Dios pudo haber hecho el mundo a ojo de buen cubero, y comenta: “nadie me convencerá de que así ocurriera, ni siquiera para el caso de las estrellas fijas, cuyos lugares nos parecen sin embargo de lo más fortuito, como el de las semillas al ser arrojadas en el campo”. Se revela aquí la sospecha de que el desorden de las estrellas puede ser sólo aparente, por afinidad con lo ocurrido a los planetas, cuyo desorden fuera eliminado mediante el heliocentrismo en el mismo acto (copernicano) por el cual se descubría un lugar para cada planeta respecto del Sol. Esta idea se encuentra explicitada poco más de un siglo después en las *Astronomical Lectures* de William Whiston (1707) de prolongada difusión en Inglaterra. Allí se lee: “Es muy racional concluir que algún orden regular tiene lugar también entre las estrellas fijas. Puede haber una cierta ordenada y armoniosa disposición de las estrellas

fijas entre ellas, cuando ellas son consideradas desde algún otro lugar adecuado, aunque este orden no aparezca cuando ellas son vistas desde esta Tierra".¹⁶ Más claramente volverá a aparecer la misma ocurrencia en 1750 cuando a propósito de la Vía Láctea Th. Wright de Durham escriba: "... similarmente como los planetas parecerían vistos desde el Sol, debe haber un lugar en el universo, un lugar para el cual su / de las estrellas / orden y movimientos primarios deban aparecer más regulares y más bellos". Surge así por primera vez el concepto de la Vía Láctea como un sistema ordenado, simétrico, provisto de centro (una galaxia) que tan importante será en la cosmogonía de Kant y en la cosmología de Herschel; no sin que entre ambos se presente la curiosa figura de Johann H. Lambert (1761) quien generaliza ampliamente la idea de la pluralidad de centros de atracción. En las *Kosmologische Briefe* describe el universo como una serie de sistemas que se mueven en torno de otros que también tienen sus centros, y así sucesivamente. El origen de esta extrapolación resulta manifiesto; Lambert mismo anuncia que la distancia Tierra-Sol como medida del espacio será substituida por el radio de la órbita del Sol en torno de su centro estelar,¹⁷ y que más tarde será reemplazada por otra. No le extrañaría que la Luna tuviese un satélite. Años más tarde —suponemos que obedeciendo a la misma inspiración— y al descubrirse el primer asteroide, Herschel se preguntará si no tiene alguna luna.¹⁸

La idea formulada por Lambert (del universo como sucesión de sistemas subsistemados) cayó en el olvido hasta que en 1920 el suco Charlier la resucitó tratando de resolver las llamadas paradojas de Olbers y de Seeleiger.¹⁹ Si bien la propuesta no tuvo buena acogida a causa de la más frecuente interpretación de la cosmología relativista, en el último decenio el universo subsistemado ha vuelto a ser objeto de estudio con el fin de resolver los problemas más actuales de la cosmología. Se comprueba así, una vez más, la gran fecundidad de la hipótesis que Copérnico retomó de Aristarco para elaborarla con los mejores recursos matemáticos de su tiempo. La fuerza de esa hipótesis fue mucho mayor que la de los conceptos que Copérnico conservó de Ptolomeo. Ella tenía en germen los progresos posteriores, que surgirían apenas las condiciones históricas permitieran a los astrónomos dialogar libremente con la naturaleza; pues del mismo modo que Kepler fue laboriosamente conducido a eliminar el movimiento circular, tampoco la finitud del universo (aceptada por Copérnico) pudo sobrevivir mucho tiempo una vez que se dio entrada a la traslación terrestre. En efecto, la inobservada paralaje obligó a dilatar el universo en la medida necesaria para respetar las observaciones. Sumando la convicción de que no habiendo centro único la finitud es innecesaria, surgió con claridad la plausibilidad del infinito. Con él Giordano Bruno corona simultáneamente la obra de Copérnico y de Nicolás de Cusa.²⁰

(*) Comunicación presentada ante el II Congreso Argentino de Historia de la Ciencia (22-XI-1972). Pues las actas del mismo no han sido editadas todavía, se publica aquí como homenaje argentino al medio milenio de Copérnico. Se incluyen las notas, suprimidas por razones de tiempo en la lectura ante el Congreso.

Queda pues de manifiesto el error de Neugebauer al reducir la importancia de Copérnico a su trabajo matemático. Si Galileo y Kepler hicieron del heliocentrismo lo que sabemos, fue porque éste encerraba en sí mismo su propia justificación. Esta se manifestará siempre que el copernicanismo sea llamado a describir las nuevas observaciones, inclusive aquellas que hayan sido hechas para oponérsele, como fue el caso de Tycho Brahe.²¹

NOTAS (*)

(*) Las ediciones a las cuales aquí se remite son aquellas que pueden consultarse en bibliotecas públicas de Buenos Aires y La Plata.

(1) El título de este trabajo es una tácita muestra, por así decirlo, de la actitud que comentamos, pues *carece de sentido* imaginar en la época pregalileana un sistema del mundo que no sea una teoría planetaria.

(2) La falta de espacio nos impide extendernos sobre esta distinción. Según O. N., Viète corresponde a la "agresividad de la erudición renacentista" que "señala la debilidad allí donde la encuentra"; en cambio, Koyré corresponde a una época donde crece la "tendencia hacia la adoración del héroe sobre la base de 'ideas' y falta de respeto por los tecnicismos". Por desgracia (para esta tesis) Viète (1540-1603) fue contemporáneo de Galileo, Kepler y Giordano Bruno, quienes vieron en Copérnico un héroe; en cambio Koyré (1892-) pertenece a una época en que la cosmología está como nunca anegada en tecnicismo. El disgusto de O. N. es analizado en nuestro trabajo "Comparación del Almagesto y De Revolutionibus", comunicado ante la XIX Reunión de la Asociación Argentina de Astronomía (1973).

(3) Obsérvese la supresión de Galileo. O. N. reincide en esta idea (ya expuesta en "Mathematics in Antiquity") según la cual todo lo que no se traduce en ventajas calculísticas sólo puede ser apreciado por "mentes filosóficas".

(4) ARISTÓTELES, *De Caelo*, 1962 (Sansoni, Florencia). "Más aún, vemos que todos los astros que se mueven con movimiento circular presentan retrogradaciones, y se mueven con más de un movimiento, hecha la excepción de la primera esfera; de modo que también la Tierra, sea que se mueva rotando en torno al centro o posando en el centro, debería por necesidad moverse según dos movimientos". Precisamente las retrogradaciones son las que con suma sencillez quedan explicadas por el movimiento de traslación terrestre.

(5) SÉNECA, *Los Ocho Libros de Cuestiones Naturales*, 1948 (Espasa Calpe Argentina), p. 177: "6. Conviene también que contestemos a esto para saber si es el mundo el que da vueltas alrededor de la Tierra inmóvil, o si el mundo está fijo y la Tierra se mueve. En efecto, algunos sabios afirmaron que el universo no transporta sin que nosotros nos demos cuenta, y que en el cielo no hay oriente ni ocaso, sino que es la Tierra la que sale y se pone. Cuestión digna de ser examinada, pues se trata de saber cuál es nuestra situación en el mundo, si nuestra morada es la más perezosa o la más veloz, si Dios hace rodar todo a nuestro alrededor o si es a nosotros a quienes conduce". Aquí Séneca parece enterado sólo de la *rotación* terrestre. Pero más adelante (pág. 193) se lee: "Los sabios han venido a decirnos: Estáis en un error cuando juzgáis que un planeta *detiene su curso o cambia de dirección*. Los cuerpos celestes no pueden ni estacionarse ni variar su ruta. Todos siguen hacia adelante la misma dirección en que una vez por todas fueron lanzados. El fin de su carrera será el de ellos mismos. Al ser eterna la creación tiene movimientos irrevocables, los cuales, si cesasen, darían como resultado que los cuerpos que mantienen actualmente la continuidad y el equilibrio cayeran unos sobre otros. 7. Pero entonces *¿por qué algunos parecen retroceder?* Lo que les impone esta lentitud aparente es el encuentro del Sol, son las condiciones de las órbitas así constituidas que en ciertos momentos engañan a los observadores. *De este modo los navíos pueden parecerse inmóviles aun cuando naveguen a velas desplegadas.* (Todos los subrayados son nuestros.) Aquí se advierte que la hipótesis aludida no puede ser otra que la de la traslación terrestre. Una vez más, el discriminante entre el heliocentrismo y el geocen-

trismo es la actitud ante las desigualdades principales: retrogradaciones y estaciones. Señalemos al pasar que el texto de Séneca nos indica hasta qué punto la práctica de la navegación ya tenía preparadas a las mentes reflexivas para aceptar la movilidad de la Tierra a pesar de su aparente quietud. Copérnico también recurrirá a la navegación citando un pasaje de la Eneida en el *De Revolutionibus*.

De Revolutionibus.

(8) Según Simplicio, Gemino se había preguntado, al hacer una distinción entre física y astronomía: "¿Por qué el Sol, la Luna y los planetas parecen moverse irregularmente?" Y luego de mencionar la respuesta dada (antes de Ptolomeo) en términos de excéntricas y epiciclos para salvar los fenómenos, agrega: "Es por esto que un astrónomo ha sugerido realmente que, suponiendo la Tierra en movimiento de cierta manera, y al Sol de cierta manera en reposo, puede ser salvada la irregularidad aparente con respecto al Sol". Citado y discutido por Th. Heath en "Aristarchus of Samos", pp. 276-281, 1959 (Oxford, Clarendon Press).

(7) CLAUDE PTOLEMÉE, *Composition Mathématique*, traduite du grec par M. Halma, 1813, p. 17. El Capítulo VI del Libro I se titula "La Tierra no hace ningún movimiento de traslación", y se funda principalmente en consideraciones físicas cuya falsedad mostrará Galileo. Pero incluyen un detalle revelador. Comienzan así: "Mediante pruebas semejantes a las precedentes se demostrará que la Tierra no puede ser transportada oblicuamente, ni salir absolutamente del centro". Sin embargo, llega a decir: "Hay gente que a pesar de aceptar estas razones, porque nada hay que oponerles, pretenden que nada impide suponer, por ejemplo, que estando el cielo inmóvil, la Tierra gira en torno de su eje, de occidente a oriente, haciendo esta revolución una vez por día aproximadamente; o que, si el uno y la otra giran, es en torno del mismo eje, como hemos dicho, y de una manera conforme a las relaciones que observamos entre ellos". Esta hipótesis de la rotación terrestre merece de Ptolomeo el comentario siguiente: "Es verdad que, en cuanto a los astros mismos, y no considerando sino sus fenómenos, nada impide que quizá para mayor simplicidad ello sea así; pero esa gente no percibe cómo, respecto de lo que ocurre alrededor nuestro y en el aire, su opinión es ridícula".

Observemos: 1º) Ptolomeo reconoce mayor simplicidad en la hipótesis de rotación terrestre, desde el punto de vista de los fenómenos astrales, pero 2º) la descarta por sus posibles consecuencias para los cuerpos terrestres. Es la física terrestre contra la cosmología. Aquel reconocimiento Delambre lo ha calificado de "cosa preciosa, sobre todo en boca de Ptolomeo". Y podemos creerle. Ningún testimonio mejor que el de Ptolomeo, sumo experto en la acumulación de epiciclos, para convencernos de que la construcción del alejandrino no podría nunca superar a la del polaco mientras el número de ciclos secundarios fuera comparable en ambos; pues no podría descontar aquella ventaja inicial: negar a los astros los movimientos que son propios de la Tierra. Inversamente: suponer que el universo gira con un movimiento que puede ser sólo de la Tierra, crea una verdadera singularidad en la esfera de las fijas (desde el punto de vista de la progresión de los períodos de revolución). Lo análogo con la traslación: negarla a la Tierra significa atribuir peculiaridades adicionales a la esfera de las fijas y una disposición de los planetas que privilegia al Sol. Ello explica que algunas mentes (filosóficas o no) buscaran simplificar el universo a costa de una pequeña complicación terrestre. Por lo cual Copérnico escribirá en su Quinta hipótesis del *Commentariolus*: "Todo movimiento que aparece en el firmamento aparece no por cualquier movimiento del firmamento sino por el movimiento de la Tierra". Y en la hipótesis Séptima: "El movimiento aparente directo y retrógrado de los planetas aparece no por el movimiento de éstos sino por el de la Tierra. El movimiento de la Tierra únicamente, entonces, basta para explicar tantas aparentes desigualdades en el cielo".

El mismo propósito que nos empeñamos en subrayar (sea filosófico, morfológico o topológico) es enunciado otra vez al término del Capítulo IV del Libro I del *De Revolutionibus*: "...considero necesario, ante todo, que examinemos atentamente cuál es la relación de la Tierra con respecto al cielo, no sea que, mientras pretendemos investigar las cosas más profundas, ignoremos las que nos son más próximas y, a causa del mismo error, atribuyamos a los cuerpos celestes lo que es propio de la Tierra".

(8) NICOLÁS DE CUSA, *De la Docta Ignorancia*, 1948 (Ed. Lautaro), pág. 108. "Luego la Tierra, que no puede ser el centro, no puede carecer absolutamente de movimiento, y hasta resulta necesario que esté animada de un movimiento tal que permita la existencia de otro infinitamente menos potente." Esto en cuanto a la posibilidad del movimiento. Y en cuanto a la razón de su imperceptibilidad, en pág. 111: "...si alguien se encuentra en la Tierra, el Sol, o cualquier otro astro, creará siempre que está en el centro inmóvil y que todas las demás cosas están en movimiento, y siempre imaginará otros polos, según que esté en la Tierra, en el Sol, en la Luna o en Marte."

(9) NICOLÁS COPÉRNICO, *De las Revoluciones*, Libro I, 1965 (EUDEBA). "Ahora bien, quienes imaginaron las excéntricas, aunque pareciera que en gran parte han podido deducir los movimientos aparentes con cálculos exactos mediante ellas, han admitido al mismo tiempo muchas cosas que, al parecer, contradicen los primeros principios de la uniformidad del movimiento". (Dedicatoria "Al Santo Padre Paulo III, Sumo Pontífice").

(10) N. COPÉRNICO, *lugar citado*, Libro I, Capítulo VIII. "...Ptolomeo temió en vano que la Tierra junto con todas las cosas terrestres, se destruyeran por la revolución producida por acción de la naturaleza, que es muy diferente de la que puede originar el arte o de la que proviene del ingenio humano. (Se refiere al ya citado por nosotros Capítulo VI del Libro I del *Almagesto*.) "Pero ¿por qué no temió que ello sucediera más bien con el mundo, cuyo movimiento ha de ser más veloz cuanto es mayor el cielo que la Tierra?"

Es decir, Copérnico le señala a Ptolomeo una inconsecuencia en la aplicación de la física aristotélica. Argumentando siempre en ese sentido llega a decir: "...el movimiento es la razón principal con la que se pretende demostrar que el mundo es finito. Pero dejemos a los físicos la discusión de si el mundo es finito o infinito, y tengamos por seguro el hecho de que la Tierra, terminada por los polos, está limitada por una superficie esférica. ¿Por qué, entonces, continuamos dudando de otorgarle el movimiento correspondiente por naturaleza a su forma, antes que trastornar el mundo entero, cuyos límites ignoramos y no podemos llegar a saber, y no confesamos por fin que esta revolución cotidiana pertenece al cielo en apariencia pero a la Tierra en realidad?" Son aristotélicos los dos principios: atribuir un movimiento a una dada forma, y la finitud al movimiento. Es un desarrollo brillante, incluso cuando el autor renuncia a decidir sobre el tamaño del mundo (regalando el tema a la física). Copérnico ya sabe que a causa de la paralaje (inobservada todavía) la contienda sólo puede librarse en dominio astronómico. *En passant*: la mayor parte de los cosmólogos modernos parecieran haber tomado en serio la invitación de Copérnico, aunque no la hayan leído. Se trata de una ilusión absurda: el problema del tamaño del universo, como todo problema cosmológico, sólo puede resolverse con métodos astronómicos.

(11) La mayor sencillez conceptual del heliocentrismo no surge ni podía surgir de consideraciones calculísticas. Además de las razones expuestas en las notas 7, 9 y 10, surge de un hecho extraordinariamente olvidado por numerosos autores en el campo histórico y filosófico. Ya lo hemos aludido: Existen en Ptolomeo dos condiciones geométricas singulares referidas *al Sol*: una para el movimiento de los centros epiciclales de los planetas inferiores, y otra para el movimiento sobre los epiciclos de los planetas superiores. Que estas dos condiciones especiales se articulen precisamente en un *planeta* que como el Sol debía tener las mayores dimensiones según Aristarco, es una *anomalía* capaz de impresionar a la mente menos "filosófica" (Ver: C. LAVAGNINO, "La Contribución de Copérnico a la astronomía", *Acta Copernicana*, 1, 1974). Porque, si podía admitirse que el Sol con su gran volumen estuviese al servicio de los hombres girándoles en torno, ¿qué razón divina podía exigir que los planetas (acepción actual) tuviesen sus posiciones regladas por él?

(12) Ver la metáfora empleada en la Dedicatoria al Papa Paulo III (Copérnico, *De las revoluciones*, 1965, EUDEBA).

(13) GALILEO GALILEI, *Dialogo dei massimi sistemi*, 1959 (Rizzoli, Milán). En pág. 395: *Simplicio*. Estos accidentes son tan grandes y conspicuos que no es posible que Ptolomeo y sus seguidores no hayan tenido conocimiento de ellos. (...) *Salviati*. Discurrís muy bien; pero sabed que el principal objetivo de los astró-

nomos puros es el dar solamente razón de las apariencias en los cuerpos celestes / el famoso "salvar los fenómenos" / y a ellas y a los movimientos de las estrellas adaptar tales estructuras y composiciones de círculos, que los movimientos calculados según ellos respondan a las mismas apariencias, cuidándose poco de admitir alguna exorbitancia que de hecho, por otras consideraciones, resultase difícil". / Luego Salviati describe la aparición de la *quimera* que Copérnico le mencionara al papa Paulo III, y explica que con ella: / "... si bien se satisfacía a la parte del astrónomo puro calculador, no estaba sin embargo la satisfacción y tranquilidad del astrónomo filósofo". / Y en pág. 397 el mismo diálogo prosigue así: *Sagredo*. Estas estaciones, regresos y direcciones, que siempre me han parecido grandes improbabilidades, yo querría entender mejor cómo ocurren en el sistema copernicano. / A lo cual responde Salviati con la descripción de los efectos de perspectiva en el movimiento planetario real, para comentar luego: / "Veis señores, con cuánta facilidad y simplicidad el movimiento anual, si fuese de la Tierra, se presta a dar razón de las aparentes exorbitancias que se observan en los movimientos de los cinco planetas, Saturno, Júpiter, Marte, Venus y Mercurio, quitándolas todas y reduciéndolas a movimientos iguales y regulares".

(14) GALILEO GALILEI, *El Mensajero de los astros*, 1964 (EUDEBA), pág. 36: "Sin embargo, lo que supera con mucho toda admiración, y primeramente me movió a censurar a todos los astrónomos y filósofos, es haber descubierto cuatro estrellas errantes, por nadie observadas y conocidas antes que por mí, las cuales, a semejanza de Venus y Mercurio alrededor del Sol, cumplen sus revoluciones en torno de un astro insigne entre los conocidos, al que a veces preceden y otras veces siguen, sin separarse de él más allá de ciertos límites". (Los subrayados son nuestros.) En la portada del mismo *Sidereus* enumera Galileo los objetos celestes observados con el telescopio en este orden: superficie lunar, estrellas fijadas, la Vía Láctea, nebulosas, satélites de Júpiter. Entre "nebulosas" y "satélites" ha puesto "y principalmente", destinando a estos últimos objetos dos líneas con la mayor tipografía.

(15) Sabemos por una carta de Kepler a Herwart (1600, es decir anterior a la colaboración con Tycho) que el programa expuesto en el *Misterio Cosmográfico* nunca fue abandonado por su autor. Allí había escrito: "Que había tres cosas sobre todo, de las cuales yo buscaba sin cansarme, las causas, a saber: el número, las dimensiones y los movimientos de los orbes". Obsérvese que los movimientos y las dimensiones han sido determinados por Copérnico. Kepler busca la *causa* de los mismos; igualmente, ¿por qué seis planetas y no cualquier otra cantidad, incluso infinita? Y el extraordinario rechazo de las estrellas distribuidas al azar. Pero el esfuerzo del *Misterio* no había sido del todo satisfactorio. Pensó mejorar el acuerdo (entre las observaciones y un sistema del mundo fundado en los cinco poliedros regulares) si obtenía valores más exactos de las excentricidades planetarias. Y entonces: "Una de las más importantes razones para mi visita a Tycho fue: el deseo, como usted sabe, de obtener de él valores más correctos de las excentricidades, con el objeto de examinar mi *Misterio* (...)". De esa conflictiva relación con Tycho —que no fue, como pretende un lugar común la de maestro con discípulo— salió la órbita de Marte y las dos primeras leyes del movimiento planetario.

Todo lo cual significa que Kepler se fijó una tarea distinta de la de Copérnico e *inconcebible* (no sólo imposible) sin ella. Kepler no aparenta discutir ni justificar a Copérnico sino prolongarlo. De lo contrario no le habría alcanzado la vida. El mismo parece tener conciencia de este relevo de postas cuando escribe a su maestro Mästlin tras la muerte de Tycho: "La principal realización de Tycho está en sus observaciones (...) Tycho quería escribir otro libro sobre los cometas; él ha hecho investigaciones más bien eruditas e industriosas acerca de todos los planetas, algo a la manera de Ptolomeo, *mutatis mutandi*, como también Copérnico hizo. Pero reteniendo Tycho a la Tierra como centro del universo. De ahí usted puede ver cómo Dios distribuye sus dones; ninguno de nosotros puede hacerlo todo. Tycho hizo lo que hizo Hiparco. Su trabajo concierne a los cimientos del edificio. Tycho ha cumplido así una obra inmensa. Pero ningún hombre solo puede hacer todo. Un Hiparco necesita un Ptolomeo que construya la teoría de los otros cinco planetas. Ya en vida de Tycho yo he logrado esto. He construido una teoría de Marte, de modo que los cálculos alcanzan completamente la exactitud de las observaciones por los

sentidos. Hasta que esto se hizo, parecía imposible describir los movimientos de Marte más precisamente. La razón por la cual la descripción de los movimientos de Marte fue considerada especialmente difícil, se aplica no sólo a Marte sino a todos los planetas, pero la razón es más manifiesta en Marte (...)"

También resulta claro de este pasaje que mientras para Kepler el éxito calculístico es un medio para verificar la exactitud de las hipótesis físicas o cosmológicas, cuya mayor sencillez y armonía mide el progreso de la ciencia, para Neugebauer y otros anti-Copérnicos el progreso consiste en la innovación calculística.

Otro factor que ha sido utilizado para exaltar a Kepler en perjuicio de Copérnico es la retención por éste del movimiento circular. Ya hemos dicho que el utilizar a Aristóteles contra Ptolomeo fue una técnica consecuente en Nicolás de Cusa y en Nicolás Copérnico. Pero aun cuando no hubiese existido tal circunstancia, es preciso conocer cómo fue la entrada real de las órbitas elípticas. La introducción de esta forma no fue una hipótesis afortunada producto de ninguna repugnancia por el movimiento circular uniforme, sino una imposición que se le presentó por descarte al elaborar una y otra vez las observaciones de Tycho *sobre la base* de la teoría copernicana. Tal fenómeno se refleja en el tiempo transcurrido: hay siete años desde la primera visita a Tycho (carta a Herwart) hasta la conclusión de la Nueva Astronomía (con sus dos primeras leyes). En realidad el libro se publicará dos años más adelante (1609). Ese tiempo sería inexplicable si estuviera justificada la extrañeza que Neugebauer le atribuye a Viète. Pues un matemático genial como Kepler —y antes que él un matemático *fundador* como el Viète de Neugebauer— no advertieron que la descripción algebraica del movimiento según los epiciclos ptolemeicos conduce a la ecuación de una elipse —tal como un estudiante del secundario podría fácilmente comprobarlo hoy. Estos "descubrimientos" sólo parecen posibles a posteriori, del mismo modo —para dar un ejemplo— que las cosmologías neo-newtonianas fueron posibles sólo después de Einstein. Porque si el descubrimiento de la verdad no fuese tan largo y laborioso, la ciencia no sería ciencia sino deporte.

(16) Citado por M. HOSKIN en *Journal for the History of Astronomy*, 1, 1, pág. 44: "The Cosmology of Wright of Durham".

(17) En efecto, durante el siglo XIX los astrónomos parecieron seguir espontáneamente tal tendencia. La unidad *astronómica* de distancia fue definida como la distancia promedio entre la Tierra y el Sol. Más tarde, como la distancia media entre las estrellas de la vecindad solar resultó ser del orden de 100.000 unidades astronómicas, apareció muy conveniente el año-luz (distancia recorrida por la luz en un año terrestre) para expresar las distancias interestelares. De este modo la estrella más próxima al Sol resultó estar a algo más que 4 años luz. Otra unidad interestelar más conveniente desde el punto de vista técnico, también fue definida en relación con la distancia Tierra-Sol: esta distancia es vista bajo el ángulo de un segundo de arco si el observador se encuentra a la distancia de un *parsec*. Por consiguiente, la distancia media entre nuestras vecinas estelares es del orden de un *parsec*. Se necesitan 8000 de estas unidades para expresar la distancia del Sol al centro de la galaxia. (Si éste es el centro en que pensaba Lambert, no podemos discutirlo acá). Por otro lado, si consideramos que las familias estelares más pequeñas son los llamados cúmulos abiertos entre los cuales los más alejados se hallan a un par de *parsecs*, aproximadamente, los astrónomos han estado oportunos al introducir el *kiloparsec*. Así la distancia al centro galáctico es de 8 *kiloparsecs*, y la distancia a la galaxia más próxima entre las similares a la nuestra, es de algo más de 500 *kiloparsecs*, o sea medio millón de *parsecs*, o sea medio *megaparsec*. El siguiente sistema (en el sentido de Lambert-Charlier) es un grupo de galaxias distante 10 *megaparsecs* del nuestro.

(18) W. HERSCHEL, *Collected Works*, Ed. Dreyer.

(19) C. V. L. CHARLIER, *How an infinite world may be built up*, Stockholm, 1922. Una puesta al día de esta idea mediante el empleo de las observaciones astronómicas posteriores fue hecha por C. J. LAVAGNINO, *El Significado de la escala en los sistemas cósmicos*, Tesis, 1964.

(20) Cualquiera sea la relación que pueda determinarse existió entre Giordano Bruno y sus precursores en el salto hacia el infinito

(sea N. de Cusa o Th. Digges) es inexcusable para nuestro propósito tomar en cuenta la palabra del propio Bruno. Nos resulta difícil imaginar una razón por la cual su gratitud había de expresarse con mayor fuerza (y sin veracidad) hacia Copérnico que hacia los restantes autores involucrados en la introducción del infinito, siendo que éste no aparece explícito en el *De Revolutionibus*, y a lo sumo podría conjeturárselo como una tendencia. En efecto, Bruno incluyó un capítulo dedicado a Copérnico en el poema "De lo inmenso y de los infinitos, o sea del universo y de los mundos". Ese capítulo noveno se titula "De la gloria de Nicolás Copérnico" y comienza así: "Aquí yo te llamo hombre de la mente veneranda, cuyo ingenio no fue tocado por la infamia del siglo obscuro, ni la voz fue suprimida por el ruidoso murmurar de los ignoros, oh generoso Copérnico cuyas advertencias golpearon mi mente en los tiernos años, cuando consideraba ajenas a los sentidos y a la razón las cosas que ahora toco con la mano y tengo por descubiertas". Este *tocar con la mano y tener por descubierto* fue escrito antes de Kepler y, ni qué decirlo, antes del telescopio. Nos da una idea de lo que pudo leer el humanismo en el cielo de Copérnico.

Desde luego, no se trata de adivinación. Al descubrir Copérnico las distancias de los planetas al Sol (en unidades astronómicas) ha dado por primera vez un *lugar físico*, por así decir, a cada cuerpo celeste; con eso el concepto *tamaño del universo* adquiere un sentido nuevo. Además Copérnico ha debido alejar el cielo de las estrellas fijas. Si este cielo no se mueve (como en Ptolomeo o Aristóteles) ya no necesita ser finito. Este paso lo da Bruno. ¿Por qué? ¿Acaso no puede ser el universo estelar finito e inmóvil? El admitirlo dio lugar a diversas especulaciones acerca del más lejano de los planetas y la esfera de las estrellas. Hoy podemos ver que tal hipótesis era una forma de seguir privilegiando a nuestro sistema solar. Pero desde que Bruno le da "profundidad" del placer con el cual la divinidad consideraría el gran vacío entre al cielo de las estrellas, las distancias entre ellas tienen todas el mismo significado. Son enormes, es cierto, pero dejan lugar muy generoso para otros sistemas planetarios. Que éstas y otras consecuencias hayan podido ser extraídas de la obra de Copérnico —realizada con métodos matemáticos tradicionales y con el mínimo de hipótesis innovadoras— no debiera impulsarnos a la crítica. Más bien podríamos preguntarle a Neugebauer por qué un trabajo tan "trivial" no fue hecho o publicado antes.

(²¹) Sobre este curioso fenómeno propio del trabajo científico ver C. J. LAVAGNINO, "Copérnico como arquetipo del compromiso intelectual", *Acta Copernicana*, 1, 1974. Uno de sus aspectos Kepler lo previó muy bien en el Misterio Cosmográfico; al establecer una distinción entre la teoría de Copérnico y una conclusión verdadera extraída de premisas falsas, escribe: "... la conclusión a partir de premisas falsas es accidental; y su falsedad intrínseca se traiciona a sí misma cuando es aplicada a un objeto distinto de aquel para el cual ha sido deducida (...). Es muy de otro modo para la que ubica al Sol en el centro. Pues esta hipótesis, una vez planteada, se podrá demostrar no importa cuál de las cosas que, verdaderamente, aparecen en el cielo, ir adelante y hacia atrás, deducir la una de la otra, haciendo ver así su vínculo intrínseco, las más complicadas demostraciones remitiéndonos siempre a las mismas hipótesis iniciales". Amplias transcripciones de esta obra se encuentran en Alexandre Koyré, *La Revolution Astronomique*, 1961, Hermann, París.

LITERATURA

- O. NEUGEBAUER, "On the planetary theory of Copernicus", *Vistas in Astronomy* 10, (1968).
- O. NEUGEBAUER, *The Exact Sciences in Antiquity*, Harper Text-books, 1962.

DISCUSION

DR. D. PAPP — En efecto, la crítica a Copérnico es vieja. Empieza con Kepler, quien escribió que Copérnico no sabía cuán rico era.

DR. C. J. LAVAGNINO — Es cierto y conocido. Pero lo mismo se puede aplicar a Kepler y a Galileo y a Newton. La historia de la ciencia muestra que ésa es una cualidad de las innovaciones revolucionarias. Pero lo que sostengo es que teniendo Copérnico motivos para pronunciarse sobre algunos puntos y sobre otros no (por ejemplo, en el manuscrito del *De Revolutionibus* aparece

primero Aristarco y luego lo elimina) elaboró su libro con el mínimo de novedades necesario para desencadenar una transformación incontenible. Para ello elige una forma clásica que facilita la comparación con el *Almagesto*, pero incorpora hipótesis que permiten obtener resultados completamente nuevos.

DR. D. PAPP — ¡Eh! Lo principal en Copérnico fue el pitarismo que recibió de Domenico di Novara. Por eso no pudo desprenderse del movimiento circular.

DR. C. J. LAVAGNINO — La circularidad no impide descubrir la ley armónica de Kepler a partir de Copérnico, pero no puede descubrirse a partir de Ptolomeo. Quienquiera hable de equivalencia entre el alejandrino y el polaco tendrá que encontrar primero a tercera ley a partir de Ptolomeo.

DR. D. PAPP — ¡Eehh!

Comparación entre el *Almagesto* de Ptolomeo y el *De Revolutionibus* de Copérnico *

CARLOS J. LAVAGNINO

Observatorio Astronómico, La Plata

Abstract: We have made a comparison between the structures of the main books of Ptolemy and Copernicus, to test the contention of Neugebauer about the lack of originality in Copernicus. This work was not really necessary to validate our thesis about the problem (Lavagnino, 1972), but the difficulty to get *De Revolutionibus* counsel us to publish the material. Because of financial troubles we wait other opportunity for the printing in extenso.

Resumen: Hemos hecho una comparación entre las estructuras de los libros principales de Ptolomeo y Copérnico, con el fin de comprobar la pretensión de Neugebauer acerca de la falta de originalidad en Copérnico. Este trabajo no fue realmente necesario para convalidar nuestra tesis acerca del problema (Lavagnino, 1972), pero la dificultad de conseguir el *De Revolutionibus* nos aconsejó publicar el material. Por razones financieras esperamos mejor oportunidad para la impresión completa.

Literatura

- Ptolomeo, *Composición Matemática*, Edición M. Halma, 1813.
- Copérnico, *De las Revoluciones en seis libros*, Edición Instituto Politécnico Nacional, México, 1969.
- Lavagnino, *La Contribución de Copérnico a la cosmología de su tiempo*, 2º Congreso Argentino de Historia de la Ciencia, 1972; este Boletín 18.

El desarrollo de la astronomía en la Argentina **

CARLOS J. LAVAGNINO

Observatorio Astronómico, La Plata

En el primer Congreso Argentino de Historia de la Ciencia (Córdoba, 1969) presentamos una descripción del desarrollo de la astronomía desde la protoprehistoria hasta la época actual. De ese cuadro surgieron con características bien distintas aquellos períodos que fueron dominados por el empleo de ciertos conceptos u operaciones. Resultó tam-

* Comunicado ante la 19ª Reunión de la Asociación Argentina de Astronomía, San Juan, 1973.

(**) Comunicación leída en el 2º Congreso Argentino de Historia de la Ciencia, Buenos Aires, noviembre de 1972, cuyas actas no han aparecido todavía. El Editor del Boletín de la Asociación Argentina de Astronomía considera útil este trabajo para la organización de la astronomía en la Argentina.