

## «Origen, progresos y estado actual de toda la literatura».

### IV-V. Ciencias Naturales

Fernando Miguel Pérez Herranz. Universidad de Alicante

#### *Las ciencias naturales*

Comienza Juan Andrés (JA en lo sucesivo) la *Historia de las Ciencias Naturales* con un canto a «la dignidad del espíritu humano», a esas obras que el hombre realiza movido por la sola curiosidad del espíritu.<sup>1</sup> Los seres humanos no pueden conformarse con las imágenes que nos presentan los sentidos, siempre falsificadores y engañadores, y por eso se aventura a penetrar en los arcanos más recónditos de la naturaleza: las minas subterráneas, los insectos, los brutos, los pájaros, los peces, las conchas, las plantas, las piedras... Y no solo en la naturaleza; se atreve a adentrarse incluso en el mismísimo espíritu humano, objeto también él de especulaciones, y aun en el propio Dios, creador de la naturaleza toda. Así pues, nos encontramos, por un lado, con una naturaleza dada globalmente y que el espíritu humano ha de clasificar o categorizar, esto es, dividir en diversos territorios para que puedan ser estudiados con detenimiento y que serán objeto de cada una de las ciencias. Y, por otro, con un espíritu que, al ser moldeado por las costumbres que se adquieren en la vida de las diferentes naciones, actúa de múltiples y discordantes maneras. Los chinos, por ejemplo, conservan muchas semillas de las ciencias, pero ofrecen pocos frutos; los griegos, en contraposición, forman ciencias nuevas que expanden por todo el mundo. Existen, sin embargo, otros muchos pueblos que ni promueven las ciencias ni las transmiten. Algunos, como los árabes, hicieron renacer las ciencias griegas y supieron trasmitirlas a unos europeos, que, durante tantos siglos, las habían despreciado. Y ahora, cuando los europeos abrazan las ciencias así transmitidas, lo hacen con tal entusiasmo que consiguen hacerlas florecer en muy pocos años. Es ese

---

<sup>1</sup> En una carta de 1830 Carl Gustav Jacobi comentaba a su colega Adrien-Marie Legendre, ambos grandes y destacados matemáticos, que la finalidad única de la ciencia era la de *rendir honor al espíritu humano*.

gran espectáculo lo que JA va a bosquejar en los tomos dedicados a las Ciencias Naturales, siempre con los cuidados críticos de la comparación y de no aceptar cualquier testimonio. En sus inicios, la ciencia tan sólo se generó entre los griegos, admirables por su ingenio y tesón para internarse por sus escabrosos territorios. Roma, émula de Grecia, no se interesó tanto por las ciencias como por la jurisprudencia. Europa, esta es una tesis que todavía produce asombro en los críticos e historiadores europeos, será despertada a la Ciencia por medio de los ARABES, en quienes JA encuentra la verdadera cultura científica. Es éste un camino muy diferente al que configurará el dialéctico Hegel, para quien todos los conceptos nacen de la Idea, desde su interior mismo y, en consecuencia, cada ente no es más que un momento de la razón universal que se clausura en Prusia. Como hemos indicado en la Introducción, JA defiende, por el contrario, una historia dendrítica, en la que los desarrollos, como los de las ciencias, pueden producirse por una energía impresa desde el exterior, como ocurre en este caso con la arábica. Y esta *traslatio* de las manos antiguas a las modernas ha conseguido realizar tan notables amentos en las ciencias naturales —geometría, álgebra, astronomía, física, química o medicina—, que "parece han adquirido un nuevo ser" (IV, 33):

Únicamente diremos que los asiáticos, los egipcios, los fenicios y aquellos pueblos llamados bárbaros por los griegos poseyeron mucho antes que ellos algunas ciencias; que no sólo sus libros y sus tradiciones, sino que hasta los mismos griegos nos dicen que cuando la Grecia todavía estaba envuelta en una profunda ignorancia, cultivaban ya aquellos pueblos la Astronomía, la Física y la Filosofía, y que los griegos tuvieron que reconocerlos por muy superiores en su saber y debieron sujetarse a su enseñanza. Pero, sin embargo, las ciencias, por decirlo así, bárbaras, no nos parecen aún bastante dignas del ilustre nombre de ciencias, y sólo entre los griegos las podemos ver elevadas a tan sublime dignidad. (IV, 25-26)

## MATEMATICAS

JA comienza por las matemáticas, la ciencia menos expuesta a errores, la ciencia por la que la mente humana camina más libre y segura, con menos equivocaciones y con mayores descubrimientos, de forma que ya Jenócrates (s. IV aC) las juzgaba «base de la filosofía», pues fueron las primeras que se redujeron a ciertos y verdaderos principios. Los textos hebreos no son muy fiables a la mirada de JA;

tampoco las ingeniosas teorías sobre la Atlántida ni menos aún los antiguos conocimientos astronómicos de indios, chinos o caldeos; ni siquiera las pesquisas de los milesios Tales o Anaximandro. El verdadero principio de las Matemáticas, citando a Aristóteles (*Metafísica*, I), lo pone JA en los pitagóricos. Cuenta la deliciosa anécdota de san Justino mártir, que no fue admitido por los pitagóricos por no haber pasado por la clase de Matemáticas (IV, 39), adelantándose así al famoso eslogan «Nadie entre aquí que no sepa geometría / *Ageomeretos medeïs eisíto*», que rezaba el frontispicio de la Academia platónica. Mas las matemáticas, como ocurre con las ciencias en general, tras alcanzar su cénit, entraron en decadencia. Los árabes, que destruyeron la escuela de Alejandría —lo repite JA—, recompensaron las pérdidas que habían ocasionado y transmitieron aquellos saberes a los europeos, enriquecidos también por descubrimientos propios. (IV, p. 41) Roma poco o nada aportó al desarrollo de las matemáticas. Los cristianos contribuyeron algo más, debido a las disputas de los clérigos por alcanzar unanimidad en la especificación del calendario litúrgico. Pero fueron los árabes, a través de España, quienes impulsaron las matemáticas, la fuente en la que bebieron los europeos, como Roger Bacon o el gran Leonardo da Vinci. Tras destacar el valor de los matemáticos a partir del siglo XVI, JA repasa cada una de las ramas de esta ciencia.

Primero, las distintas posiciones sobre la *Aritmética*, el origen de los números y los distintos sistemas de numeración: en base diez, cuatro, veinte. Recurre a la autoridad tanto de Aristóteles como de la información recogida por Lorenzo Hervás en su *Aritmética de las naciones*, que adjunta mucha información sobre el saber de los pueblos de América. Los árabes, ya lo sabemos, fueron los únicos poseedores durante muchos siglos de los conocimientos matemáticos, y a ellos atribuye el descubrimiento de la regla de «la falsa posición» o regla de Elcattain, en la cual tomando al azar un número y viendo su resultado, se hace después la regla de tres y se halla el verdadero número que se busca.<sup>2</sup> Aunque el gran avance de los árabes fue su sistema de numeración, que facilita el manejo de las cifras y provee de un método fácil y seguro para operar. ¿Cómo no apreciar en estas reflexiones de JA el uso de un criterio gnoseológico, y no una mera descripción, al comparar el uso de los signos

---

<sup>2</sup> Así, para hallar un número tal que ese número más su mitad sea 15, se toma un número cualquiera, por ejemplo 2 y se suma su mitad, 1 ( $2+1=3$ ). Se trata, por tanto, de una falsa posición. A partir de aquí se establece la proporción 2 es a 3 como  $x$  es a 15; el resultado se halla fácilmente:  $2 \times 15 / 3 = 10$ .

matemáticos por los latinos y los árabes? Resaltaré su llamada a la contigüidad operatoria (causa) y no a la semejanza (analogía):<sup>3</sup>

También los árabes tenían en su alfabeto 62 en la *nunnación* 69, y algunas otras letras muy semejantes a las cifras; pero, sin embargo, nosotros no derivamos de los árabes las cifras numerales por aquella semejanza, sino solo por el uso posterior de la práctica aritmética. (IV, 62)

En esta polémica continua ya entre los intelectuales orgánicos de las naciones, JA argumenta contra la atribución de haber sido el introductor en Europa de las matemáticas a Gerberto / Gerberto de Aurillac (945-1003), el futuro papa Silvestre II, en la época de Otón / Otón I (c. 912-973), emperador del Sacro Imperio Romano Germánico, pues en todo caso su conocimiento lo adquirió de los árabes y de los españoles, sus discípulos, y lo pasó a las Galias. (IV, 63-66) Y el primer gran escritor, Leonardo Fibonacci de Pisa (c. 1170-1240), cuyo padre era empleado de aduanas, aprendió en África la *aritmética arábica*. Continúa por los grandes aritméticos italianos hasta la gran invención del logaritmo por parte de Neper; sigue con Pascal y Fermat, y con los distintos usos de la aritmética: Pascal en los juegos; Leibniz en la jurisprudencia y la moral, determinando por su medio la usura; y Petri en la Política, sobre el número de habitantes de una nación, las mercancías que deben consumirse, los terrenos, la navegación o el comercio.

El Álgebra, que en principio era un simple método de la Aritmética, ha ocupado un lugar (gnoseológico, diríamos nosotros) entre la Aritmética y la Geometría. JA considera que su fundamento fue establecido por los métodos de Diofanto (s. III) para resolver los problemas numéricos de la ecuación de primer grado con ayuda de letras y no de números. Menciona a Hipatia (c. 370-415), que

---

<sup>3</sup> Cuando el racionalismo se aplica al estudio de la naturaleza sin más apoyo que los del orden especulativo: analogías, simbolismos... desemboca en lo irracional. Es necesario aplicar el orden metonímico o de causalidad. El criterio de cientificidad queda así definido por relaciones causales (relaciones metonímicas) sin que se hayan eliminado las relaciones de semejanza (metafóricas). Por tanto, en todo campo cognoscitivo se requieren dos tipos de fenómenos, que constituyen un esquema de proporcionalidad tal que  $A : B :: C : D$ , estando  $A$  y  $C$ , y  $B$  y  $D$  en relación metafórica y  $A$  y  $B$ , y  $C$  y  $D$  en relación de contigüidad. El criterio de cientificidad, por tanto, sigue la siguiente regla: «Las relaciones por contigüidad habrán de verificarse *independientemente* de las relaciones por semejanza». De manera que las relaciones de contigüidad no se soportan en las relaciones de semejanza. Cf. G. Bueno, "Introducción" a Eugenio Trías, *Metodología del pensamiento mágico*, La Gaya Ciencia, 1970.

hizo un comentario sobre las ecuaciones diofánticas, lo que agrada a los actuales forofos de la película de Amenábar *Ágora* (2009). El Álgebra se expande como la Aritmética a través de los matemáticos italianos que estudian las ecuaciones: Leonardo Fibonacci o Lucas Paccioli las de segundo grado; Escipión del Ferro, la de tercer grado. Y así hasta la pareja polar Nicolo Fontana, apodado *Tartaglia* (1499-1657) / Girolamo Cardano (1499-1557) en la transmisión de los saberes: el primero, defensor del secretismo, se esfuerza por ocultar los métodos hallados para colmar su ambición de gloria; el segundo, defensor de la divulgación del saber, se esfuerza, a la inversa, por darlos a conocer a toda clase de público. Desde una perspectiva interna, gnoseológica, JA comenta las dificultades con las que se encontró Cardano al extraer la raíz cuadrada que debe entrar en tales ecuaciones, esas «raíces imaginarias» que han excitado no solo la imaginación de los grandes matemáticos, de Descartes a Euler, sino incluso la de los literatos.<sup>4</sup> El gran algebrista Vieta / François Viète (1540-1603) ofrece un método general que brinda resoluciones para todos los casos y facilita todas las operaciones:

Cuando ahora, multiplicando o sustrayendo una letra, añadiendo otra o usando casi materialmente algunos caracteres del alfabeto, se resuelven con la mayor facilidad los cálculos más intrincados. (IV, 93)

347

Mayo-Junio  
2018

El álgebra, al permitir ser aplicado a la geometría, inicia el camino hacia el cálculo infinitesimal y, recuerda JA, cómo confluyen los métodos de los dos genios matemáticos: el de diferencias específicas de Leibniz y el de fluxiones de Newton. De modo que presenta otro concepto gnoseológico tan relevante como es el de *verdad sintética* o confluencia de verdades parciales alcanzadas por sistemas operatorios diferentes: "El resultado es el mismo, aunque el uno y en el otro provenga de razones diversas".

La disputa sobre quién fue el primero en inventar el cálculo infinitesimal se emborronó con los sentimientos nacionalistas y las cerrazones a las que este tipo de discordias da lugar. Pero las naciones tan recientemente formadas constituían uno de los signos de los tiempos, que hoy abarca prácticamente a todo el planeta Tierra,

<sup>4</sup> Cf. Recuérdese la novela de Robert Musil, *Las tribulaciones del estudiante Törless* (1906). Hay traducción española en la editorial Seix-Barral, 1984.

santificado por la proliferación de campeonatos deportivos de toda clase y condición: nadie puede competir si no está arropado por alguna bandera nacional. Además, desde el punto de vista gnoseológico, es muy interesante que JA destaque la resistencia del cálculo infinitesimal ante los intentos de falsarlo —diríamos hoy, siguiendo a Popper—. Pues, además de la resistencia nacionalista, hay otra resistencia gnoseológica en la que se discute la coherencia, la consistencia o la referencia del problema en cuestión, en este caso, la metafísica de los infinitésimos. Nuestro jesuita se instala en un territorio neutro: por una parte, el adelanto del cálculo en lo que corresponde a los progresos de la geometría; por otra, el modo de perfeccionarse en todas las naciones europeas: Inglaterra, Francia, Alemania e Italia. La ausencia de España en este episodio, después de haber jugado un papel central en la transmisión de este saber, es una de esas lagunas que me ha ocupado durante algún tiempo y que he vinculado a la defensa del dogma cristiano de la Eucaristía, que estaba, naturalmente, por encima de los intereses de las naciones, si es que su creencia obligaba a toda la Cristiandad.<sup>5</sup>

Es razonable pensar que la *Geometría* naciese, se cultivase y promoviese debido a las eventuales condiciones geográficas que concurrían en Egipto. Pero se pregunta retóricamente JA: ¿por qué Tales de Mileto, tras descubrir la propiedad de círculo: "todo triángulo tiene por base el diámetro y toca con el ángulo opuesto la circunferencia tendrá este ángulo recto", o Pitágoras, tras haber encontrado la relación entre el cuadrado de la hipotenusa y la suma de los cuadrados de los dos lados, saltaron de alegría e hicieron un sacrificio a las Musas? Son los griegos, desde los primeros pasos dados por Tales y Pitágoras, quienes establecieron los principios de la geometría. JA valora los esfuerzos del ingenio de los griegos, que algún mediocre geómetra de su tiempo, ironiza, podría tomar como pequeños juegos escolares. (V, 118) Recuerda algunos problemas sobre los que disputaban los geómetras como la cuadratura del círculo, la duplicación del cubo o la trisección del ángulo, problemas irresolubles para la geometría plana, de regla y compás; y alaba a los grandes geómetras de la época: a Arquitas de Tarento (428-347 aC), padre y verdadero maestro de la antigua geometría; a Euclides (c. 325-265 aC) y sus

---

<sup>5</sup> Cf. por ejemplo, F. M. Pérez Herranz, "El concepto de Ontología: de la transustanciación al atomismo", *Conceptos: revista de investigación graciana*, 3 (2006), pp. 33-50

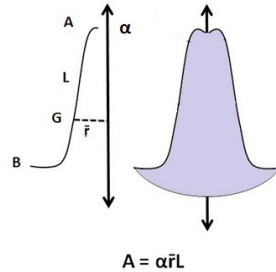
*Elementos*; a Apolonio de Pérgamo (c. 262-190 aC) y su invento de las secciones cónicas; a Arquímedes (c. 287-212 aC) y su método de aproximaciones. La magnitud de sus obras invita a ponerlos en correspondencia, según el METODO COMPARATISTICO, con los grandes matemáticos del siglo XVII: Leibniz o Newton. Los *Elementos* de Euclides se convirtieron en modelo, de modo que "han sido en todos los siglos el código de los géómetras y el libro clásico de todas las escuelas de Geometría". (IV, 124)<sup>6</sup> Y ya es sensible JA a las discusiones que en el momento en el que escribe están poniendo en duda la consistencia de la geometría euclidiana, que verá en el próximo siglo XIX su desbordamiento por las geometrías no euclideas. (IV, 124)

Los griegos llevaron a la geometría hasta su máxima perfección, según reconoce el propio Newton: "que acostumbraba a decir que no habría necesidad de escribir nada sobre la Geometría si hubieran llegado a nuestras manos todas las obras de los géómetras griegos, los romanos no tuvieron siquiera un geómetra que mereciese el estudio de la posteridad". No es el caso, como ya sabemos, de los árabes, que además de conservar los libros de los griegos, hicieron progresar el cálculo trigonométrico y transmitir ese saber a los europeos. Refiere JA los escritos geométricos en España y Portugal, donde se cultiva la geometría con pujanza, como puede verificarse en los comentarios de Ciruelo / Pedro Ciruelo (1470-1548) o de Núñez / Pedro Nunes (1502-1578), portugués inventor del *nonius* para medir longitudes. En Italia Clavius, Vieta, Lucas Valerio o Galileo muestran que con el método de los antiguos se podía ir más allá. Y Kepler / Johannes Kepler (1571-1630) se atrevió a recorrer nuevos caminos: llegó a formar más de ochenta sólidos desconocidos, a los que distinguió con nombres cotidianos, iniciando así una costumbre muy del gusto de los topólogos modernos: *anillo ancho, anillo angosto, globo turquesco, manzana, membrillo...*; operó con el infinito: el círculo de infinitos triángulos, el cono de infinitas pirámides...; y dejó abiertos gran cantidad de problemas, algunos de los cuales resolvió Guldin / Paul Guldin (1577-1643) por medio de un fértil esquema de identidad: el centro de gravedad, un descubrimiento magnífico. Guldin examina las figuras construidas por rotación de una línea y de una superficie

---

<sup>6</sup> Permítaseme señalar que me he ocupado de la Geometría en Grecia desde un punto de vista gnoseológico en F. M. Pérez Herranz, "Entre Samos y el Museo: la travesía por el número y la forma geométrica", en J. L. González Recio (ed.), *Átomos, almas y estrellas. Estudios sobre la ciencia griega*, Plaza y Valdés Madrid / México, 2007, pp. 353-398.

alrededor de una base inmóvil y demuestra que, conocido el centro de gravedad de una curva generatriz, puede calcularse el área de la superficie de revolución. (La figura 1 muestra el espléndido teorema)



**Fig. 1.** Una superficie de revolución es igual al producto de la línea generatriz por la distancia de su centro de gravedad al eje de revolución

Los problemas del infinito fueron proseguídos por Galileo y sus discípulos: Cavalieri, que inicia una nueva geometría con su noción de *indivisible*, Torricelli, etc. En cualquier caso, JA enaltece a Descartes y Fermat como «los príncipes de la Geometría». Descartes sabe aplicar el álgebra a la teoría y el conocimiento de las curvas, que facilitan, como dijimos, la resolución de los problemas más complicados y confusos del movimiento con notable sencillez. Fermat / Pierre de Fermat (1601-1665) añade la cuestión de los máximos y los mínimos, que no había encontrado en Descartes y que abren el camino hacia el cálculo infinitesimal. Como ocurre tantas veces, Descartes y Fermat entraron en una polémica provocada más por los egos de los inventores que por cuestiones gnoseológicas: el tan repetido tópico del «Yo frente al Logos». Y JA menciona al flamenco *Gregorio de San Vicente* (1584-1667), jesuita y hoy prácticamente desconocido incluso por el público culto no especialista y que el mismísimo Leibniz puso al lado de Fermat y Descartes, formando el triunvirato de los grandes matemáticos. Sus estudios sobre la concordia y conformidad entre distintas figuras geométricas —por ejemplo, entre la espiral y la parábola: demuestra que la espiral es una parábola envuelta y la parábola, una espiral desenvuelta— abre las puertas a la GEOMETRIA COMPARADA, que, me parece, es una estupenda noticia para quienes siguen la escuela comparatista desarrollada por Andrés, Eximeno o Hervás, que aquí recordamos y homenajeamos. Huygens / Christian Huygens (1629-1695) critica e impugna la cuadratura del círculo de Gregorio de San Vicente, a quien, sin embargo, admira, así como todos sus extraordinarios resultados, entre los que es necesario mencionar la teoría de las *evolutas*, uno de los mayores descubrimientos en



geometría. En Inglaterra fueron muchos los geómetras que desplegaron su ingenio, aunque fue Newton el que brilló de manera especial, como es reconocido por toda la comunidad científica. JA hace un resumen de la excelsa obra del inglés con una precisión que podría calificarse de *newtoniana*, y que nos sirve de índice para mostrar la capacidad crítica del jesuita expulso:

Para levantar la gran máquina del sistema del universo, que él estableció en la inmortal obra *De los principios matemáticos*, necesitaba un pleno dominio sobre todos los registros de la más fina Geometría, lo obtuvo plenísimo su nuevo métodos de las fluxiones. Rectificar curvas, medir áreas, determinar tangentes, encontrar los máximos y los mínimos, fijar los puntos de inflexión, manejar libremente a su arbitrio todas las figuras y las líneas de que se sirve la Naturaleza, y combinar infinitas fuerzas, infinitas direcciones, y variaciones infinitas de fuerzas y de direcciones se le hizo a Newton fácil y llano con el auxilio de ese método; y puede decirse con verdad, que el Cálculo de las fluxiones hizo que Newton fuese mirado como el numen de la Geometría y lo elevó sobre los otros hombres en el conocimiento de la naturaleza. (IV, 149-150)

JA, que tiene especial predilección por Leibniz, lo iguala a Newton, si no en la aplicación, sí en la explicación y propagación del nuevo método en beneficio de la geometría. Ahora, dotados los estudiosos con los sorprendentes hallazgos de Newton y Leibniz, podrían encontrar verdades muy difíciles de hallar y con mayor facilidad. Y esa obra fue realizada por científicos que rememora JA y que hoy no solo son recordados, sino estudiados y profundizados: los hermanos Bernouilli, Euler, D'Alembert, Lagrange, Taylor, etc.

## MECANICA

Continúa JA su recorrido por lo que llama *Matemáticas mixtas* y examina, en primer lugar, la *Mecánica*, entendida no como simple práctica, sino fundamentada en principios matemáticos. El verdadero creador de los principios de la estática y la hidrostática fue Arquímedes, que demostró principios tan geniales como los de la balanza o determinó el centro de gravedad de diferentes figuras, etc. A través de Pappo (*Colecciones*, libro VIII), se sabe del vínculo entre las máquinas y sus demostraciones matemáticas.

JA no se detiene ni en romanos ni en árabes, que pocos o ningún progreso hicieron en mecánica; el siglo XVI explotó sus posibilidades con Tartaglia y su tratamiento de los proyectiles; con Guido de Ubaldo / Guidobaldo del Monte (1545-1607) con estudio de los equiponderantes de Arquímedes; o con Simon Stevin / Simón de Brujas (1548-1620) y sus investigaciones en hidrostática de fluidos; y alcanzó su esplendor cuando compareció Galileo Galilei, verdadera lumbrera de la mecánica, quien con su doctrina del movimiento desencadena el primer adelantamiento científico de los modernos frente a los antiguos. Los descubrimientos de Galileo son abundantísimos y JA los va citando con precisión: las leyes de aceleración de los graves, la resistencia de los medios, la ley de caída de los graves, la brachistocrona, la línea de descenso más rápida, el movimiento parabólico de los proyectiles, el movimiento del péndulo... Galileo es elogiado por haber sacado prácticamente de la nada una ciencia tan fecunda en irrevocables verdades, con consecuencias tan decisivas también para la ontología de la Eucaristía que defendieron sus hermanos jesuitas.

Y, a la par de este problema ontológico, no podemos dejar de mencionar otra vez «la cuestión de la naciones», de cómo los inventos y demostraciones científicas siempre van vinculadas a la nación de origen y no, como quizá cabría de esperar de la ciencia —universal y objetiva, que neutraliza las operaciones de los sujetos involucrados—, a su valor puramente gnoseológico, más allá de los intereses de un grupo humano concreto, las aristocracias y las burguesías de las naciones formadas recientemente. Queda marcado el vínculo, desde entonces ya ineludible, entre la investigación científica y los intereses de los Estados-naciones:

Entre tanto, procuraron los franceses emular también en esta parte la gloria de los italianos, se aplicaron a descubrir nuevas verdades, y no quisieron aparecer meros secuaces y discípulos de Galileo... (IV, 163)

Es interesante observar que, para JA, Descartes queda relegado a un segundo plano en mecánica, pues, aunque se presentó también como legislador de esta materia, al ampararse en sus ideas cosmológicas, quedó enredado en imaginaciones y solo pisó firme cuando continuó las huellas de Galileo. Ahora bien, los programas

de Descartes estimularon otras investigaciones que obtuvieron brillantes resultados: Wallis y Wren en Inglaterra; o Huygens en Holanda, que sistematizó las leyes de comunicación del movimiento, hizo avanzar el conocimiento del reloj oscilatorio, formalizó la igualdad entre la fuerza potencial y la fuerza, etc. Vuelve JA a la cuestión nacional, a los celos entre las naciones a causa de la originalidad de sus inventores. Si antes la polémica se centró en la prioridad del cálculo infinitesimal entre Newton y Leibniz, ahora gira alrededor de la denuncia de plagio hecha a Huygens. Sin embargo, y me parece de gran interés repetirlo, JA desvincula la univocidad entre los descubrimientos y el genio creador, puesto que el mismo resultado puede alcanzarse por vías diferentes, porque está suponiendo que el descubrimiento de las verdades científicas es sintético y no analítico:

Así que pudo éste estar enteramente ignorante de la tentativa de Galileo, pudo probarlo por sí mismo sin ningún preventivo conocimiento, pudo poner en duda y aun negar con alguna razón, que ni Galileo, ni su hijo hubiesen llegado jamás a formar un reloj semejante, pudo obtener justamente los elogios de original y pudo ser el primer inventor. (IV, 168)

Tras el elogio a Huygens, segundo padre de la mecánica, aborda una vez más a Newton que culmina la mecánica, hoy llamada *clásica*, con las tres famosas leyes del movimiento. En este aspecto nadie puede compararse a ni competir con el inglés, ni siquiera Leibniz. JA admite plenamente la mecánica de Newton y esto es una corrección a la postura defendida durante tanto tiempo por los jesuitas, como hemos señalado a causa del problema físico que originaba el dogma de la Transubstanciación. Pero ahora ya no estamos en el siglo XVII, en el que las luchas se realizan en el contexto de la Reforma entre cristianos-católicos-romanos y cristianos-reformados, sino en el seno de las naciones que se habían constituido en aquellas luchas entre las partes y el todo del imperio, de la *Universitas Christiana*. De manera que las instituciones estatales apoyaban a los investigadores de sus respectivas naciones. Y, como la ciencia desborda por definición cualquier frontera política, enseguida se formaron diversas teorías que no eran defendidas unívocamente por sus nacionales: hubo cartesianos italianos o españoles, leibnicians ingleses o newtonianos franceses y todo el catálogo de posibles combinaciones.

JA, tras revisar todos los adelantos desde Galileo a Newton que habían demostrado sintéticamente las proposiciones de la mecánica, recuerda a Euler, quien por vez primera reduce toda la mecánica al análisis. Y ahora la lista de los grandes genios ya está completa: el progreso lo inicia Galileo, el maestro de la caída de los graves; lo continúa Newton, el maestro del movimiento circular; y lo cierra Euler, el maestro del movimiento de rotación.

El contexto nacionalista condiciona las luchas externas a la ciencia y provoca que Francia dispute a Inglaterra, Alemania o Italia el cultivo de la mecánica. La Academia de Ciencias de París se pone a competir en primera línea y JA recuerda a su siempre admirado D'Alembert y, con una perspicacia admirable, presenta la no menos revolucionaria obra de Lagrange / Joseph Louis Lagrange (1736-1813) que hace de la mecánica una nueva rama del análisis. Lagrange explica todos los principios de la estática, la hidrostática, la dinámica y la hidrodinámica; ofrece las fórmulas generales para el equilibrio y el movimiento; deduce sus propiedades generales; propone los métodos para encontrar en ellas las ecuaciones; y presenta toda la mecánica sujeta a las operaciones algebraicas.<sup>7</sup> La mecánica vendría a poner un límite a las especulaciones de los geómetras, y a obligar a los cálculos a ajustarse a la realidad, al mundo que habitamos. Así que los progresos habrán de venir de los límites que se trazan en la recogida de hechos, en la multiplicación de las experiencias, en la verificación de las observaciones y en la guía de las investigaciones: la observación y la práctica. JA, como se ve, asume el nuevo programa experimental de la ciencia que hoy identificamos con la mecánica clásica: Galileo-Newton-Lagrange.

---

<sup>7</sup> Joseph-Louis Lagrange (1736-1813) quería evitar el «circuito metafísico» del cálculo infinitesimal (infinitésimos, límites...) mediante un *algoritmo* —la palabra es de Lagrange— que redujera el cálculo a puro álgebra. Eliminando toda metafísica, muestra que las derivadas e integrales pueden interpretarse en términos de operaciones de cálculo algebraico, y describe el movimiento por medio de lo que hoy se llama *espacio de configuración*. Cfr. V. I. Arnold, *Mecánica clásica. Métodos matemáticos*, Madrid, Paraninfo, 1983. De ahí el rechazo de Lagrange al uso de las figuras geométricas. Dice en su *Mécanique analytique*: "No se hallarán figuras en esta obra. Los métodos que expongo no requieren construcciones ni razonamientos geométricos o mecánicos, sino sólo operaciones algebraicas sujetas a un proceso regular y uniforme". Cfr. R. Taton, *La ciencia moderna*, Barcelona, Destino, 1972, p. 526.

## HIDROSTATICA

Tras la mecánica de los sólidos, JA transita por la mecánica de fluidos. También aquí le maestro originario es Arquímedes, pero como en el párrafo anterior, se asienta en la época moderna, en Stevin y Galileo, el verdadero maestro de la *Hidrostatica*. Es muy interesante cómo JA vincula el progreso de la hidráulica en la famosa discusión sobre qué figura corresponde a la Tierra: si achatada por el ecuador o achatada por los polos.<sup>8</sup> Y menciona la aportación de nuestro Jorge Juan (1713-1773), que reforma y corrige los cálculos hidrostáticos y los ajusta a la observación. Pues, insiste JA en su exposición, las especulaciones y las suposiciones, por naturales que parezcan, han de ceñirse a resultados que la naturaleza no desmienta.

## NAUTICA

La *Náutica* es el saber de la construcción y manejo de las naves. Muchos escritores describen las grandiosas naves de la antigüedad, de las que se han servido los héroes para llevar a cabo sus arriesgadas aventuras, y se preguntan por los orígenes de la navegación: ¿Fue el egipcio Da Nao, el griego Jasón o incluso el dios Eolo, el inventor de la primera gran nave de los antiguos? Pero aquí se trata de Ciencia y sobre esta perspectiva son los árabes quienes gestionan la náutica con rigor. Remite JA a algunas obras que se encuentran en la Biblioteca de El Escorial, y al uso que saben hacer de la brújula, sea cual fuere su origen. Para los occidentales es la mítica Segres, en el cabo de San Vicente, el lugar privilegiado en el que nació esta ciencia a principios del siglo xv. El Infante de Portugal don Henrique (1394-1460) había fundado en tan privilegiado lugar una Academia de Náutica. Con el estudio y el esfuerzo de Jaime de Mallorca, de Josef y de Rodrigo y de otros hombres versados en la marina y en las matemáticas, dice JA, se inventaron las cartas hidrográficas; se idearon instrumentos y propusieron métodos de observación para poder gobernarse en el mar; y se potenció el conocimiento experimental ayudado por conocimientos de astronomía, geometría y trigonometría. Ahora bien, la clave del estudio y la

---

<sup>8</sup> Que trato desde un punto de vista gnoseológico y nacionalista en F. M. Pérez Herranz, "Jorge Juan: universalidad científica y particularidad nacional" (en prensa).

investigación en náutica se encuentra en el conocimiento exacto de dos conceptos fundamentales: la *longitud* y la *latitud*. La latitud es fácil de fijar; no así la longitud, enormemente difícil de determinarla en alta mar. Tanto España como Holanda, los dos imperios marítimos de la época, requerían un método que les hiciese adquirir seguridad en los viajes por el océano Atlántico. Entró en la competición también Inglaterra y el Parlamento ofreció un premio para quien resolviera el problema. Cuenta JA este episodio tan decisivo en el desarrollo de la ciencia moderna, aunque no deja de ser curioso que no haga mención alguna al descubrimiento de América y pase de la escuela de las cartas hidrográficas al problema de la longitud sin mediación alguna.

Tras exponer las discusiones sobre el arte de navegar (Pardies, Renau, Huygens), JA evoca a los maestros de esta ciencia: Bourger y Euler. En 1749 Euler / Leonhard Euler (1707-1783) publica una Geometría con todas las operaciones de construcción de la dirección de las naves: figura, colocación, manejo de cada parte, timón, velas, palos, remos, contemplado todo según criterios geométricos y ajustado al análisis. A estos grandes teóricos y analistas les faltaba, sin embargo, la práctica de la navegación. JA comprende que se han de reunir los conocimientos requeridos en las ciencias —geometría, mecánica e hidrostática—, por un lado, y la experiencia en arsenales y puertos, y en la navegación, por otro. Esa experiencia se encuentra sintetizada precisamente en nuestro Jorge Juan, cuya obra *Examen marítimo*<sup>9</sup> reúne todos esos conocimientos y experiencias. De manera que es ahora un español el que cierra este apartado en el contexto de esa gran batalla de las naciones por lucir a sus investigadores patrios.

## ACÚSTICA

JA justifica la inclusión de la *Acústica* en la parte de las ciencias matemáticas, en contra de las opiniones que defendieron Aristóxeno en la antigüedad y Eximeno en la modernidad, al considerar a la música obra del oído sin correlación con las

---

<sup>9</sup> Jorge Juan, *Examen marítimo teórico práctico, o Tratado de Mechanica aplicado a la construcción, conocimiento y manejo de los navíos y demás Embarcaciones* (1771, 1793<sup>2</sup>). Se encuentra en La Biblioteca Virtual Miguel de Cervantes de la Universidad de Alicante.

**URI:** <http://www.cervantesvirtual.com/nd/ark:/59851/bmcr2107>

matemáticas. Pero JA se agarra a la tradición que, proveniente de Pitágoras, se mantiene viva en el *cuadrivium* (aritmética, geometría, música y astronomía) y desemboca en el ilustrado D'Alembert, que conecta música y matemáticas. JA repasa la música griega y la música de la Iglesia, introducida por san Ambrosio / Ambrosio de Milán (337-397) y luego reformada por Gregorio / Gregorio I *Magno* (c. 540-604), que introduce un canto llano, y de quien puede decirse que es verdadero inventor de la música de Iglesia: el *canto gregoriano*. Más tarde, en el siglo XI, Guido Aretino / Guido de Arezzo (c. 91-1050) inaugura la música moderna. Guido partió del tetracordio diatónico (uso solo de los tonos), al que los griegos habían acrecentado con una cuerda más, *proslambanomenos* (última nota), al unir dos tetracordios descendentes y disyuntos. Guido le añadió a su vez otra cuerda y formó un hexacordio para componer así una escala de dos octavas. Sobre el hexacordio estableció el solfeo y propuso las seis sílabas tan celebradas del himno de san Juan: *ut, re, mi, fa, sol, la*, de manera que cada una de las tres propiedades del canto se entonase con la *ut* (que se suplió por el *do* actual):

*Ut queant laxis / Resonare fibris / Mira gestorum / Famuli tourum  
Solve polluti / Labil reatum / Sancti Iohannes*

357

Mayo-Junio  
2018

En el recorrido por los músicos antiguos JA resalta las *Cantigas* de Alfonso X el Sabio y las composiciones del rey de Navarra de la dinastía Campagne, Tibaldo / Teobaldo de Champaña (1201-1253), muerto en la Cruzada de san Luis, autor de canciones de amor, pastorelas, sirventés y debates, que siguen la tradición del *amor cortés*.

Y dado que la música está vinculada más a la ciencia especulativa que al arte deleitable o instrumento de devoción, JA nos saca de las iglesias y de los claustros y nos traslada a las universidades. Recuerda que la primera cátedra de Música la erigió Alfonso X el Sabio; o que la música fue tan favorablemente acogida en la Universidad de Salamanca en donde enseñaba el célebre Francisco de Salinas (1513-1590), autor de sus no menos celebrados siete libros *De Música*.<sup>10</sup> JA reprime su

---

<sup>10</sup> A quien Fray Luis de León dedicó la bellísima oda que comienza: "El aire se serena / y viste de hermosura y luz no usada, / Salinas, cuando suena / la música extremada, / por vuestra sabia mano gobernada...".

pluma para no salir de los límites de las matemáticas de la acústica y culmina este arte con Galileo, que lo coloca al frente de esta ciencia, como lo estuvo en casi todas las demás. Galileo explica los fenómenos físicos acústicos desde su teoría de las vibraciones sonoras y define el *sonido* a partir de las ondulaciones del aire producidas por el movimiento de las cuerdas que llegan a nuestros oídos. De manera que el pisano eleva la teoría pitagórica de los números a observaciones medidas de los movimientos de los péndulos, de las ondulaciones de los fluidos y de las vibraciones sonoras y deja atrás una doctrina apoyada en groseras experiencias de martillos y una metafísica tenebrosa edificada sobre una misteriosa oscuridad. A partir de Galileo se establecerá «la ciencia de la música». JA hace una observación gnoseológica al comparar la proliferación de lo que hemos llamado *contextos de modelización* en Óptica (telescopios, microscopios, espejos...), una empresa que no se lleva a cabo en acústica hasta Taylor / Brook Taylor (1685-1731), que busca las figuras que toman las cuerdas cuando se producen vibraciones.

Concluye JA esta disciplina mencionado a Eximeno / Antonio Eximeno Pujades (1729-1808) como contrapunto de la acústica, por su mirada de la música más como arte deleitable que como ciencia matemática, por su refutación de los sistemas matemáticos y por su intento de fundamentarla no sobre razonamientos matemáticos, sino sobre la observación de la naturaleza. Mas a pesar de esta concesión a su amigo, JA vuelve a señalar la insuficiencia de la doctrina del sonido, muy lejos aún de alcanzar la perfección a la que ha llegado la óptica.

## ÓPTICA

El apartado sobre *Óptica* se inicia recordando aquel momento de las *Nubes* de Aristófanes en el que Strepsíades quiere comprar la piedra diáfana con la que encenderá el fuego que queme el escrito de su condena. La piedra diáfana es un espejo ustorio (de *ustus, oris* «el que quema»), un espejo que concentra la luz en un punto. Euclides explicó en su *Óptica* y en su *Catóptrica* la estructura de los espejos y Arquímedes, según la no por repetida menos espectacular leyenda, aplicó hábilmente estos saberes para incendiar la flota romana que sitiaba Siracusa. Pero sea cual fuere el conocimiento óptico de los griegos, la ciencia de la óptica no empieza



para nosotros sino con sus transmisores árabes: Alhazen, Alkindi, Zarcalli..., a veces corrompedores, a veces ampliadores del saber. Así pudo estudiar Roger Bacon (1214-1292) los portentos que presentaban los efectos de la refracción y la reflexión, los vidrios convexos y cóncavos, por lo que muchos le tuvieron por inventor de los anteojos. Sea o no correcta esta atribución, el caso es que se sabe de su uso entre los años 1200 y 1300, según testimonio de fray Jordan de Rivalto que cita JA. Y en el siglo XVI se hicieron observaciones y experimentos sobre la luz con tal ingenio que permitieron a Porta / Giovanni Battista della Porta (1535-1615) inventar la cámara oscura. JA hace aquí una muy interesante observación gnoseológica sobre el telescopio como modelo sobre el que se construye la ciencia de la óptica, y que es casi una definición de lo que llamamos *contextos de modelización*:

Esta notable mutación, esta gloriosa transformación no la obtuvo la Óptica sino con la invención de los telescopios. (IV, 250)

Es de lamentar, desde luego, el desconocimiento que tenemos de tantos inventores de instrumentos y objetos utilísimos para la humanidad, como ocurrió con el telescopio. Mas, en cualquier caso, fue Galileo, una vez más, quien, a partir de un mero conocimiento del instrumento, construyó el primero de ellos y supo fertilizarlo para obtener decisivos descubrimientos astronómicos y físicos. Y Kepler pudo ahora describir su primer estudio sobre la Óptica con conocimiento de causa, no por mero ingenio especulativo. El jesuita Scheiner / Cristóbal Scheiner (1575-1650) enseñó un sistema intermedio entre Copérnico y Galileo; estudió las manchas solares y concedió que pudieran estar localizadas en la superficie del sol; construyó telescopios llamados *astronómicos* y, más incluso, en su obra *Rosa Ursina* se refiere también al microscopio, aunque JA celebra a Galileo como su creador.

Descartes sistematiza y formaliza las leyes de la óptica, aunque no consiguiera que de su estudio se siguiese en la práctica las mejoras que imaginaba y su *Dióptrica* fue atacada por Fermat y sus seguidores. JA repasa los inventores de los telescopios y los microscopios y concluye este apartado con Newton, quien perfecciona todos estos progresos en su *Óptica* (1704).

## ASTRONOMIA

Llegamos ahora al capítulo que puede considerarse la piedra de toque de los progresos de la Ciencia, con mayúscula. En otra ocasión ya expuse este punto neurálgico de la Física en relación con la Compañía de Jesús y de sus resistencias ontoteológicas ante el atomismo que requería la mecánica de Galileo.<sup>11</sup> JA da cuenta de todo este proceso, y de la integración de los nuevos conceptos científicos en un contexto católico, asimilando, ante todo, la física de Galileo, «el gran restaurador de las ciencias», a quien dedica dos monografías, *Saggio della Filosofia del Galileo* (1776) y *Lettera sopra una dimostrazione del Galileo* (1779).

El método de JA, como he indicado, solo considera los datos que están documentados, que cita de continuo, y se aleja de especulaciones y divagaciones sobre los pueblos antiguos, a los que no niega su contribución tácita a las cuestiones astronómicas: división del tiempo, constitución del Zodíaco, distinción de planetas y estrellas fijas, establecimiento de solsticios y equinoccios, etc. (IV, 270) Pero la astronomía como ciencia deriva de la astronomía de los griegos, síntesis de observaciones y teorías de otros pueblos, los caldeos y, especialmente de los egipcios. Se remite siempre a citas bien documentadas, y como ha señalado Juan Antonio Sanduvete<sup>12</sup> la exposición de JA no se aleja del modo de exposición actual de las historias de la ciencia actuales (las de Sarton, Abetti, Crombie, Rioja y Ordóñez, Taton, Solís y Sellés, Gribbin, etc.).

Vuelve JA a guardar distancias con Aristóteles: "No hablo de Aristóteles, aunque algunas sutiles observaciones más que las implicadas teorías le den algún título para ponerse entre los astrónomos". (4, 275) Y, por contraposición, cita con entusiasmo a Aristarco por su magnífica advertencia: la órbita de la Tierra respecto del sol no es más que un punto comparada con la distancia de la Tierra a las estrellas fijas; a Eratóstenes por su gran hazaña de medir la Tierra mediante su famoso método de confrontación entre el polo de Alejandría y el de Syenne; a Hiparco, a quien califica como creador de una ciencia exacta y padre de la verdadera

<sup>11</sup> F. M. Pérez Herranz, "Juan Andrés y la Astronomía", en Pedro Aullón y Jesús García (eds), *Juan Andrés y la Escuela Universalista española*, Universidad Complutense de Madrid, 2017, pp. 99-107.

<sup>12</sup> José Antonio Sanduvete Chaves, "La astronomía de un humanista, Juan Andrés", *Cuadernos dieciochistas*, 7 (2006), pp. 69-85.

astronomía, y a Tolomeo, que ofrece una teoría completa de todos los fenómenos celestes.

Continúa con el desarrollo de la astronomía arábiga. Reconoce a Al-Battani (c. 858–929), latinizado *Albatenius*, que logró hallar la determinación precisa del año solar: 365 días, 5 horas, 46 minutos y 24 segundos. Luego elogia el siglo xv, que restablece la Astronomía junto con otras ciencias. Pasa al siglo xvi y se detiene en Copérnico, reformador de la astronomía teórica, y, en paralelo, en Tycho-Brahe (Ticon), reformador de la astronomía práctica y así, de manera sutil y elegante, salva el modelo defendido por la Compañía:

No hablaré de su famoso sistema, que hace mover todos los planetas alrededor del sol y de la Luna, y el Sol con todos sus planetas alrededor de la Tierra: el respecto a algunas expresiones de la Escritura le indujo a tener la Tierra firme e inmóvil, y sus conocimientos astronómicos le obligaron a hacer mover los planetas alrededor del Sol; con lo que formó un sistema que apoyó en gran parte al copernicanismo, pero no agradó a los copernicanos ni a los ptolemaicos. (IV, 290)

Kepler, al incorporar las órbitas elípticas para el movimiento de los planetas, hace desaparecer el contexto de modelización ptolemaico de órbitas circulares, excéntricas y epiciclos; y formula las leyes de las áreas (constancia del momento angular) y las velocidades de los planetas recíprocas a las distancias. Los méritos de Kepler no terminan aquí, pues inicia la unión de la astronomía con la óptica y con la física. (IV, 293) Tras Kepler, como ya señalamos, se vincula la obra astronómica de Galileo a su contexto de modelización, el telescopio. (IV, 294) Y, finalmente, se detiene en el proceso inquisitorial que sufrió el toscano. JA cree que fue motivado por una muy genérica «oscuridad de los tiempos», achacable a ciertos obstinados peripatéticos o a los inconstantes y novadores filósofos.<sup>13</sup>

No referiré las persecuciones y molestias que tuvo que sufrir Galileo por este sistema: todos los escritores llegan a fastidiar con la relación de ellas, como si fuese cosa digna de excitar su bilis filosófica. Tenemos demasiada experiencia de que en todas las naciones y en

---

<sup>13</sup> Cf. Víctor Navarro Brotóns, "Juan Andrés y la Historia de las Ciencias", *Homenaje al Prof. J. Peset Aleixandre*, Universidad de Valencia, 1982. Y un trabajo ya clásico de Llélia Pighetti, "Un gesuita difensore del Galilei", *Archives Internationales d'Histoire des Sciences*, 15 (1962), pp. 287-290.

todas las edades un celo mal entendido de la religión ha hecho cometer violencias y caer en errores. No es nueva entre los filósofos la suerte de Galileo; ni es culpa particular de Roma el haber condenado como contraria a la religión una opinión filosófica; pero sí es particularísima gloria de Italia el haber producido un filósofo de la agudeza y solidez, de la vastedad de ideas y profundidad de mente de Galileo. (IV, 296)

JA refuerza el perfil de un Galileo antisistemático y antimetafísico, un filósofo y científico experimental.<sup>14</sup> Y trae a colación al mencionado Scheiner, para dejar bien alto el pabellón jesuítico, que habría descubierto las manchas solares, antes que Galileo. Valora la imaginación de Descartes para configurar su teoría de los vórtices que, aun siendo solo un sueño, le ha servido, sin embargo, como hilo conductor para su concepción del Universo. Las observaciones de Huygens sobre los anillos de Saturno le permite generalizar sobre la astronomía práctica, que se perfecciona tanto por medio de los nuevos instrumentos como por la actividad de los Observatorios de París y Greenwich. En esas condiciones, JA recuerda a Jean Picard (1620-1682), que había utilizado «el cuarto de círculo», o sexante, provisto de antejo y micrómetro, para medir un arco de meridiano entre Amiens y Malvoisine, obteniendo la cantidad de 57.060 toesas<sup>15</sup> mediante el método de triangulación geodésica, suponiendo que la tierra era perfectamente esférica. Celebra las observaciones y cálculos del gran astrónomo Cassini / Giovanni Domenico Cassini (1625-1712) y, de manera especial, alaba las investigaciones de Isaac Newton sobre la fuerza de atracción que obliga a un cuerpo a describir una elipse respecto de otro cuerpo colocado en uno de los focos; valora la genialidad de Newton, creador de «la verdadera física», que pasa de explicar un fenómeno local, la caída de los graves en la tierra, a un fenómeno global, la gravitación universal de todos los cuerpos; y, al repasar sus grandes descubrimientos, con una dosis de buen ingenio, aprovecha el momento para incluir, entre tantos científicos ingleses, franceses, alemanes o italianos, al mallorquín Vicente Mut (1614-1687), que ha conferido a un cometa una trayectoria parabólica (1666). Pues es la integración del movimiento de los cometas lo que comporta, para JA, el verdadero triunfo del sistema newtoniano.

---

<sup>14</sup> Una visión de Galileo cuestionada por los estudios del prestigioso historiador de la ciencia Alexandre Koyré. Pero no es este el lugar para la discusión histórico-metodológica de las ciencias, sino para mostrar la opinión de Juan Andrés.

<sup>15</sup> La toesa equivale a 1,949 metros.

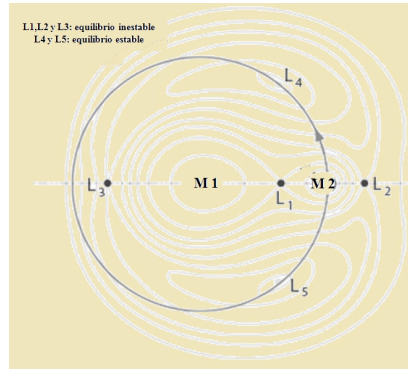
Y así llega nuestro jesuita al episodio en el que participan los dos españoles, Jorge Juan (1713-1773) y Antonio de Ulloa (1716-1795): la forma de la Tierra.<sup>16</sup> ¿Es achatada por el ecuador, como defienden Cassini y los cartesianos, o achatada por los polos, como defienden los newtonianos? La Academia de París propuso dos expediciones: una, dirigida por Maupertuis / Pierre-Louis Moreau de Maupertuis (1698-1759), para medir el grado de la tierra cerca del polo Norte; otra, dirigida por La Condamine / Charles-Marie de La Condamine (1701-1774) y en la que van los dos marinos y matemáticos españoles, para medir el grado cerca del Ecuador. El resultado a favor de la segunda opción del dilema obliga a rectificar las medidas realizadas desde Picard; y, a pesar de la enorme cantidad de muy estrictas mediciones, no afectaron al sistema newtoniano, en el que se integraron como corolarios.

JA nos sorprende con la exposición de una de las cuestiones tratadas en los mismos años en los que escribe, uno de los pocos «agujeros» del sistema newtoniano: el llamado «problema de los tres cuerpos», al que da una solución el matemático Joseph Louis Lagrange. La física de Newton era una física de las *fuerzas*, que habría de responder a las influencias de los planetas en mutua atracción, por ejemplo, entre el Sol, la Luna y la Tierra. Las perturbaciones provocadas por esas atracciones, ¿podrían provocar cambios tan drásticos que pusieran en peligro todo el sistema planetario? Newton había supuesto que con el tiempo podrían influir entre ellos de tal modo que fuera precisa la intervención divina para restaurar el orden quebrantado. Pero Lagrange, mediante el método de las aproximaciones sucesivas, mostró que en el sistema solar los cambios son *periódicos* y *compensatorios*.<sup>17</sup> De la necesidad de Dios se pasa al *autosistema*. (Fig. 2)

---

<sup>16</sup> Sobre esta cuestión disertó JA en Mantua (1777). La conferencia ha sido publicada recientemente: Juan Andrés, *La figura de la tierra*, Madrid, Casimiro, 2017. Cristiano Casalini y Davide Mombeli son los autores de la traducción y de un comentario muy ilustrativo sobre el contexto científico de la época.

<sup>17</sup> Gerald Holton, *Introducción a los conceptos y teorías de las ciencias físicas*, Barcelona, Reverté, 1979.



**Fig. 2.** *El problema de los tres cuerpos. Existen cinco puntos —«Puntos de Lagrange»— con equilibrio gravitacional,*

Es muy significativo que en este artículo sobre la astronomía, que, como dijimos es la piedra de toque de la revolución científica, concluya con Pierre Simon Laplace (1749-1827), que ya descarta toda intervención divina en el mundo para impedir el caos en su famosa respuesta a Napoleón sobre el motivo de no haber mencionado a Dios en su *Mécanique céleste*: «*Sir, je n'avais pas besoin de cette hypothèse-là*».

Y con las menciones de los trabajos de astrónomos de su tiempo —Bouguer, Bailly, Herschel...—, JA concluye su recorrido por la astronomía, esperanzado en que, junto a los cálculos de los geómetras y las expediciones académicas, se siga investigando con la ayuda de los telescopios en las observaciones y del pleno conocimiento de los hechos sin abusar del Cálculo.

*Nota sobre supuestos o realidad de la Física por mediación de Lorenzo Hervás*

En todo caso, recuérdese que el sistema copernicano no es aceptado como una verdad clara y evidente. Dentro de la Compañía continúan las reticencias. Por ejemplo, y en esta misma época, Lorenzo Hervás (1735-1809) en su *Viaje Estático*<sup>18</sup> acepta la tesis copernicana con muchas reservas:

Teniendo a la vista este mismo fin, en el *Viage estático*, en que para mayor claridad y facilidad en observar los Cielos, he supuesto al sol en el centro mundano, y a la Tierra, con los

<sup>18</sup> *Viaje estático al mundo planetario en el que se observan el mecanismo y los principales fenómenos del cielo, se indagan las causas físicas, y se demuestran la existencia de Dios y sus admirables atributos*, 1793-1794, 4 vols (puede encontrarse en la Biblioteca Miguel de Cervantes de la Universidad de Alicante).

demás planetas, girando alrededor de este centro, *NO HE PRETENDIDO HACER ESTA SUPOSICION COMO CIERTA*, sino como *UTIL* a mi asunto de facilitar la instrucción y el conocimiento de los fenómenos celestes. Con esta persuasión y declarado fin, me he valido de dicha suposición, no ignorando, que de ella no hay demostración geométrica, ni física.

Nauseante a la verdadera física, y demasiadamente atrevida es la presunción de los que osan proponer, como dogma físico o astronómico, el movimiento de la Tierra alrededor del Sol, según la opinión de los Copernicanos... (p. 319)

## FISICA

La *Física*, definida respecto de las matemáticas y las matemáticas mixtas, incluye todas las ciencias que toman por objeto el examen de los cuerpos naturales: la Química, la Historia Natural y la Medicina. JA traza la línea divisoria entre las fábulas y las cosmologías antiguas y la ciencia de la naturaleza en la Escuela que estableció Tales de Mileto, en la que se llevaban a cabo observaciones, se buscaban razones de conocimientos particulares y, así fundamentados, se construían sistemas universales. En ese contexto de operaciones nació la física, que fue realmente el objeto de estudio de los filósofos antiguos. JA valora la investigación de estos filósofos, aunque no en cuanto a la física misma, que es ciencia de experiencias y de observaciones más que de meditaciones y racionios, lo que requiere de largo tiempo y de ancha paciencia. JA vuelve a la carga: se desmarca de la física antigua, que culmina en Aristóteles, y se instala ya en posiciones gnoseológicas modernas: si la ciencia de los antiguos pretende ascender a los primeros principios de los cuerpos, la ciencia de los modernos se conforma con aquello que puede verificarse en la observación y en el experimento, y no ir más allá del conocimiento de los efectos de los fenómenos y su generalización hasta donde se alcance. El criterio de JA es «ilustrado» en el sentido de que le interesan los resultados, la verdad de la física y no la estructura filosófica que hay detrás (la ontología): los problemas del espacio, del vacío, del continuo, del infinito... De los resultados alcanzados por las antiguas escuelas la más valorada por JA es la creación pitagórica y la menos valorada, la palabrería aristotélica. El juicio sobre el estagirita es muy relevante, porque indica claramente lo que se halla en juego:

¡Cuántas vanas e inútiles sutilezas sobre los principios naturales, sobre la naturaleza, sobre el acaso, sobre la fortuna, sobre la necesidad, sobre las causas y sus diversas clases y sobre otros puntos que parecen ofrecer materia para sólidos e importantes conocimientos, pero que en las manos de aquel gran filósofo quedan oscuros y envueltos en una jerga de metafísicos y abstractos raciocinios! ¿Quién no esperará profundas observaciones y utilísimas reflexiones sobre el movimiento en tantos libros, que un filósofo como Aristóteles ha querido escribir sobre este grave argumento? ¿Y qué se encuentra en ellos sino intempestivas charlatanerías sobre el ser en acto o en potencia, según sustancia o cantidad o calidad y sobre sus inútiles categorías para deducir el gran descubrimiento, de que el movimiento es "el acto de lo que está en potencia en cuanto tal..."? (IV, 336)

La crítica a Aristóteles es directa y ataca el corazón mismo de la Filosofía que la Compañía de Jesús había aceptado en su *Ratio Studiorum*. De modo que, por contraposición, pasa a elogiar la física atomística de Epicuro.

Los romanos, ocupados en gobernar el mundo, no tenían tiempo para cultivar los estudios especulativos y no se puede esperar que hiciesen muchos progresos tampoco en física. (¿Por qué? No parece caer en la cuenta JA de que si la física es cuestión de observaciones y no de especulaciones, nada mejor que un pueblo práctico para cultivar la física. ¿Quizá les faltaba «paciencia»? "Los antiguos filósofos no supieron guardar tan justa moderación: tuvieron poca paciencia para observar y sobrada prisa y presunción para decidir". (IV, 368) Menos aun podía esperarse de los escolásticos. Hay que esperar a Bacon de Verulamio / Francis Bacon y Galileo para el nacimiento de la verdadera física. El elogio a Galileo lo realiza en contraste con Aristóteles:

¡La ciencia del movimiento, sobre la que Aristóteles escribió tantos libros y dejó a los posteriores tantos errores, recibió de Galileo aquellas luces que ni las antiguas ni las modernas escuelas habían sabido acarrearle y que han servido para ilustrar toda la Física. (IV, 342)

Galileo ha sabido unir observación y experiencia con la severidad geométrica y por esta razón puede decir JA que es maestro de la lógica física, del arte de configurar experiencias y observaciones a través de instrumentos (en el sentido de



*contextos de modelización*)<sup>19</sup> como la balanza hidrostática o el termómetro. Descartes, sin embargo, y aunque produjo una revolución en la filosofía, en física no era mucho más veraz y sólido que Aristóteles. JA repasa el combate «antiaristotélico» de Vives, Petrus Ramus o Gassendi y la resistencia de los escolásticos hasta que la filosofía cartesiana, que abrió el espíritu de curiosidad y desterró las entidades superfluas, proporcionó una clara e irreversible alternativa filosófica.

La física que inauguró Galileo y ennoblecó Huygens, fue presentada en todo su esplendor por Newton, que se mantiene en el estricto campo científico sin entrar en la construcción de sistemas,<sup>20</sup> cosa que sí intentaron Leibniz y sus seguidores: Christian Wolff (1679-1754) y Boscovich / Ruder Josip Bošković (1711-1787). Pero la física newtoniana tuvo dificultades para incorporarse a las Escuelas. Primero, por la resistencia de la física aristotélica; y posteriormente, por la presencia de la filosofía cartesiana, que se oponía también a la newtoniana y que dio lugar a la expedición en la que intervino Jorge Juan que ya comentamos: la medida del grado de longitud de la Tierra significó el triunfo del newtonismo. Muchos físicos realizaron la labor de propagadores de la física newtoniana, entre los que menciona siguiendo el razonamiento de las naciones: a Keil, Maclaurin o Desagliers en Inglaterra; Maupertuis en Francia... para concluir con una comparación histórica de la que el lector puede obtener interesantes conclusiones: "todas las naciones contribuyen al establecimiento de la doctrina inglesa, como en otro tiempo contribuyeron a la riqueza del imperio romano". (IV, 259)

Continúa JA con las aportaciones de los grandes físicos de ese momento: Gravesande, Musschenbroek, Nollet o Mairan. Para mostrar un ejemplo de la finura de sus exposiciones, mencionemos la descripción de la Aurora Boreal, que no era para los físicos sino un simple meteoro. Mairan / Jean-Jacques Dortous de Mairan (1678-1771) lo define ahora en el contexto de los fenómenos cósmicos que pertenecen a la constitución general del universo; lo deriva de la luz zodiacal descubierta por Cassini, compuesta de partículas luminosas expelidas por el movimiento de rotación

---

<sup>19</sup> Es muy valiosa, me parece, la manera en que comprende Juan Andrés la función de los instrumentos de la física, más que como herramientas como modelos. Una cuestión que necesita ser estudiada con más detenimiento.

<sup>20</sup> Juan Andrés sigue la interpretación ilustrada de Newton y desconoce su faceta sistematizadora, sus intereses por la alquimia, etc.

del Sol y, atraídas por los cometas, forman la cola de estos; de manera que Mairan conforma una teoría del Sol, de los cometas y de la Tierra, que enlaza con los cuerpos celestes e ilumina así toda la astronomía física.

Y, en fin, es muy interesante también cómo JA remite aquí a la *Física Sagrada* que se había puesto de moda en Inglaterra con el objeto de conmensurar las nuevas ciencias con las Sagradas Escrituras (uno de los grandes temas del momento). Pero JA ya sugiere que esa es una «astuta» operación realizada no tanto para contribuir a los adelantos de las ciencias como para la ilustración de los libros sagrados.<sup>21</sup>

## FISICA PARTICULAR

En el apartado de la física particular JA comienza con la ya consabida precaución ante los antiguos. Mas la exposición de JA posee un especial interés, porque cambia de método, y se ocupa de algunos ramos particulares que «operan» en la Naturaleza: aire, fuego, agua, meteorología, magnetismo y electrología.

Al aire lo trata no como un principio universal, sino como un elemento con las propiedades de gravedad y elasticidad, propiedades olvidadas por los escolásticos que siguieron la teoría más lineal de Aristóteles de los cuatro elementos y al aire solo le aplicaban la ligereza. Se relatan las experiencias de Torricelli y de Pascal, que, mediante el barómetro, pudieron medir el peso del aire; y las experiencias de los hemisferios de Magdeburgo y el vacío; y las experiencias de Boyle y Mariotte sobre la dilatación del aire muestran su elasticidad... La cantidad de datos que ofrece JA son tantos que desbordan los límites y la intención de este trabajo, una invitación a entrar en la obra del eximio jesuita expulso. Resaltaré un último texto para que el lector compruebe la minuciosidad de los métodos de JA y pueda despertarle la curiosidad para leer la obra original de nuestro sabio ilustrado:

---

<sup>21</sup> Muchos teólogos protestantes ingleses, se esforzaban en naturalizar la Biblia y expandir la idea de una *teología física* o *física teológica*, a partir de los sermones de William Derham de la Royal Society, impresos bajo el título de *Physico-Theology* (1713). Entre estos, los más radicales, como John Toland, *Christianity non misterious!* (1696) y Anthony Collins, *Discours of free thinking* (1713), defenderán incluso la idea de una religión «newtoniana», exenta de elementos sobrenaturales y en la que el conocimiento empírico constituye el fundamento de la teología y la moral, de modo que la Física vendría a sustituir a las Sagradas Escrituras. Cf. el espléndido estudio de Horacio Capel, *La física sagrada*, Barcelona, Serbal, 1985.

Musschenbroeck nos da una lista de graduaciones diversas que han encontrado los filósofos en el parangón del peso del aire con el del agua; y no solo se observa gran diferencia entre las determinaciones de autores diversos, como de Galileo  $1/400$ , de Mersenne  $1/1300$ , de Riccioli  $1/10000$ , sino también entre las de uno mismo hechas en en tiempos y circunstancias diversas, viéndose variar en Boyle desde  $1/1228$  hasta  $1/814$ , y en Homberg de  $1/630$  a  $1/1087$  ... (IV, 373)