

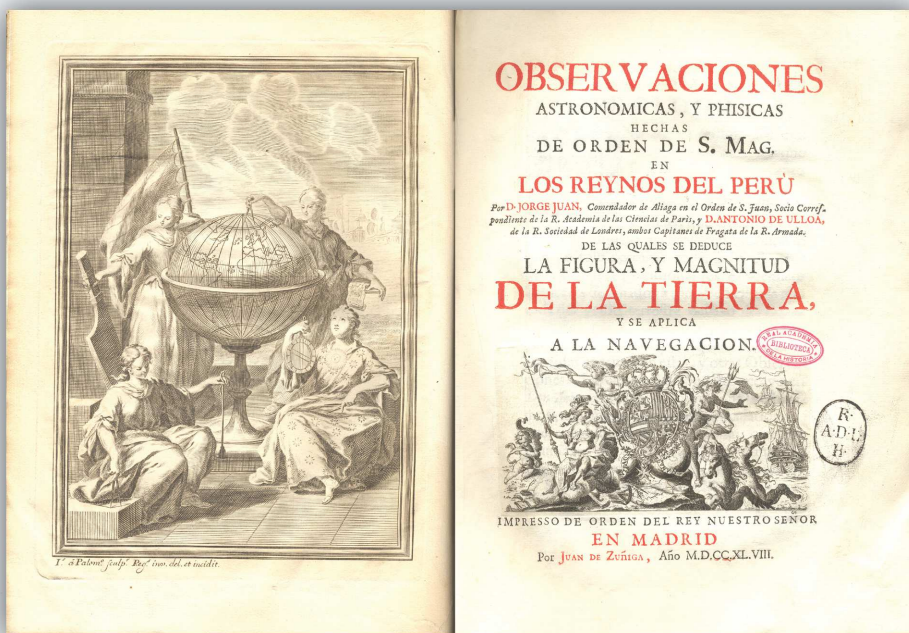
BIBLIOTECA DE ESTUDIOS MADRILEÑOS

XLVIII

CICLO DE CONFERENCIAS

MADRID Y LA CIENCIA.

UN PASEO A TRAVÉS DE LA HISTORIA (I):
SIGLOS XVI-XVIII



JOSÉ MARÍA SANZ HERMIDA - CORO MILLARES ESCOBIO - AURORA MIGUEL ALONSO
JUAN ANTONIO YEYES ANDRÉS - ROSA BASANTE POL - CONCEPCIÓN LOPEZOSA APARICIO
FRANCISCO GONZÁLEZ DE POSADAS - JOSÉ MIGUEL MUÑOZ DE LA NAVA CHACÓN
FRANCISCO JOSÉ MARÍN PERELLÓN - ANTONIO ISACIO GONZÁLEZ BUENO

INSTITUTO DE ESTUDIOS MADRILEÑOS
C. S. I. C.

Créditos:
INSTITUTO DE ESTUDIOS MADRILEÑOS
Consejo Superior de Investigaciones Científicas
Centro de Ciencias Humanas y Sociales

La responsabilidad del texto y de las ilustraciones insertadas
Corresponde al autor de la conferencia

Imagen de cubierta.
"OBSERVACIONES, ASTRONOMICAS Y PHISICAS, HECHAS DE ORDEN DE
S. MAG. EN LOS REYNOS DEL PERU" por Jorge Juan y Antonio de Ulloa. Biblioteca
Real Academia de la Historia. Sig. 5/933.

©2018 Instituto de Estudios Madrileños
©2018 Los autores de las conferencias

ISBN: 978-84-940491-1-8
Depósito Legal: M-42525-2018
Diseño Gráfico: Francisco Martínez Canales
Impresión: Service Point
Impreso en España

SUMARIO

	<u>Págs.</u>
<i>Introducción</i>	
M ^a TERESA FERNÁNDEZ TALAYA.....	9
<i>Una descripción humanista inédita de Alcalá de Henares en el siglo XVI.</i>	
JOSÉ MARÍA SANZ HERMIDA.....	15
<i>Botánica mágica y el jardín medicinal</i>	
CORO MILLARES ESCOBIO.....	31
<i>El Colegio Imperial de Madrid: un centro de estudios para la Corte.</i>	
AURORA MIGUEL ALONSO.....	49
<i>Ciencia para gobernar el Imperio: La Academia Real Matemática de Madrid</i>	
JUAN ANTONIO YEYES ANDRÉS.....	73
<i>Bajo el manto del Rey. Ciencia en las academias ilustradas madrileñas.</i>	
ROSA BASANTE POL.....	113
<i>Física y Matemáticas bajo una nueva perspectiva: la labor de Jorge Juan y Antonio de Ulloa en el Madrid ilustrado.</i>	
FRANCISCO GONZÁLEZ DE POSADA.....	133

<i>La Ciencia y el reformismo borbónico: la Sociedad Económica Matritense de Amigos del País.</i>	
JOSÉ MIGUEL MUÑOZ DE LA NAVA CHACÓN.....	169
<i>La letra impresa: libros de Ciencia en el Madrid ilustrado.</i>	
FRANCISCO JOSÉ MARÍN PERELLÓN.....	209
<i>Madrid contenedor de las Américas: los estudios sobre la diversidad de la Naturaleza</i>	
ANTONIO ISACIO GONZÁLEZ BUENO.....	223

FÍSICA Y MATEMÁTICAS BAJO UNA NUEVA PERSPECTIVA: LA LABOR DE JORGE JUAN Y ANTONIO DE ULLOA EN EL MADRID ILUSTRADO

Francisco GONZÁLEZ DE POSADA

Catedrático de Física de la Universidad Politécnica de Madrid

Académico de Número de la Real Academia Nacional de Medicina de España

Miembro Colaborador del Instituto de Estudios Madrileños

Conferencia pronunciada el 22 de noviembre de 2018
en el Museo de Historia de Madrid

1. A MODO DE CONTEXTO GENERAL

Introducción

En el contexto del ciclo de conferencias “Madrid y la Ciencia. Un paseo a través de la historia (I): siglos XVI-XVIII” se ofrecen dos polos de referencia básicos: Madrid y Ciencia. El primero no ofrece dudas, se presenta como nítido: el Madrid de la Corte en los siglos XVI a XVIII. El segundo, de ordinario, como hemos podido comprobar en las conferencias precedentes, se presenta como bastante complejo, y por ello precisa, desde mi perspectiva científica, de unas puntualizaciones.

Primera. La Ciencia abarca a las ciencias, que en abanico clásico son Matemáticas, Física (la ‘ciencia por excelencia’ como la consideró Ortega y Gasset), Química, Biología (Botánica y Zoología) y Geología.

Desde el éxito histórico de la teoría de Newton surge la pretensión de considerar ciencia a toda acción de pensamiento correspondiente a cualquier ámbito, de modo que se convierte a la ciencia en un mito y además se deifica. Así, faltando el respeto a los notables y bien establecidos sustantivos históricos, asistimos al lamentable espectáculo de denominar ‘ciencias teológicas’ en vez de Teología¹, ‘ciencias filosóficas’ por Filosofía, ‘ciencias jurídicas’ por Derecho, ‘ciencias médicas’ por Medicina, etc.; aún no he oído ‘ciencias filológicas’ en vez

¹ En estos días la editorial Clie publicita mi reciente libro *Teología de la creación del Universo y de la relación de Dios con su obra cósmica* ;Qué lejos de considerar la Teología, quizás el ámbito más glorioso del uso de la racionalidad a lo largo de la historia, como ciencia!

de Filología, pero sí hemos oído nada menos que ‘ciencia diplomática’ y ‘ciencia archivística’. Respetemos los sustantivos tradicionales y no caigamos en la idolatría de la Ciencia.

Segunda. El tiempo de referencia de nuestra comunicación es el siglo XVIII. Conviene recordar: a) Las Academias generalistas (desde siglo XVIII hasta la actualidad) portan la denominación común de “Real Academia de Ciencias, Nobles (o Bellas) Artes y Bellas (o Buenas) Letras”; b) La finalidad expresa que se otorgó a la Real Academia de la Historia (1738), creada por Real Cédula de Felipe V, consistió en ilustrar la Historia de España, “antigua y moderna, política, civil, eclesiástica, militar, de las ciencias, letras y artes, o sea de los diversos ramos de la vida, civilización y cultura de los pueblos españoles”; y c) Se crearon academias de ciencias -‘ciencias’- en las principales capitales europeas. Así, me permito decir, desde mis equivalentes atractores, desde muy joven, Física, Matemática, Teología, Filosofía, Sociología, Historia, a modo de eslogan: “Ni todo es ciencia, ni tiene por qué serlo, ni falta que hace”. ¡Basta ya!

Tercera. De manera directa conviene distinguir diversos tipos de quehaceres en torno a la Ciencia. En síntesis: 1) ‘Hacer’ ciencia supone crear, inventar, aportar novedad intrínseca al estricto pensamiento científico y depósito de descubrimientos, observaciones y experimentaciones, aportadoras de novedad; 2) ‘Hablar’ de ciencia significa explicar, narrar, enseñar la ciencia establecida, creada por otros; el caso más preclaro es el de los profesores que explican una disciplina; 3) ‘Difundir’ la ciencia es hablar de ciencia de una manera especial, por ejemplo en libros de ‘divulgación’ que precisan para su calidad una referencia al contexto histórico y una explicación de corte filosófico; y 4) ‘Exhibir’ ciencia consiste en exponer, por ejemplo mediante museos y exposiciones, contenidos científicos. Aquí recuerdo a mi maestro Laín Entralgo cuando nos explicaba que en la España de los primeros años del siglo XX se comenzó a ‘hacer ciencia’ en un marco en el que sólo se ‘hablaba de ciencia’.

Cuarta. Una breve mirada al ‘problema’ conocido como ‘polémica de la ciencia española’. Hemos de decir que Menéndez Pelayo fue muy atrevido por optimista: en España prácticamente, bajo la perspectiva de lo expuesto en las dos primeras consideraciones, no había habido ciencia, ninguna, desde mediados del siglo XVI a mediados del siglo XVIII, por muy interesante que resulte el presente ‘paseo a través de la historia’. Anteriormente, Echegaray, en su discurso de ingreso en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales había dejado claramente expuesto que sólo podíamos ofrecer al mundo como científico la figura de Jorge Juan.

Quinta. Otro de los ‘problemas’ que nos ocupan en el ámbito de la ‘historia de la ciencia’ se refiere a la naturaleza de ésta: ¿debe ser intrínseca o social? Aunque la ciencia es, ¡claro está!, la ciencia -su contenido y progreso, lo intrínseco- en tanto que historia parece ser que domina la consideración de que ha de ser ‘historia social’ dejando como carente de sentido la visión intrínseca.

Y sexta. En esta ocasión no hacemos ciencia, hablaremos un poco de ciencia, difundiremos algo de ciencia y, eso sí, nos centramos en un momento histórico y nos dedicamos a unos personajes y a unos temas tales que, desde la luz del presente, nos situará en recordar con suma alegría unos acontecimientos de la historia de la ciencia española que merecen recuerdo y difusión de su conocimiento. Así haremos una aproximación referida a la Física y la Matemática frutos de la labor de Jorge Juan y Antonio de Ulloa en el Madrid Ilustrado, citando junto a ellos al científico francés Louis Godin, promotor y jefe de la expedición geodésica al Ecuador concebida por la Academia de Ciencias francesa.²

EN TORNO A LAS “CIENCIAS FÍSICO-MATEMÁTICAS”

Se entiende aquí y ahora, en versión fuerte, por “ciencia físico-matemática” aquella parte de la Física actual que se considera física clásica y que constituye el origen de ésta. Tras la manifestación de fe científica que fue elaborando Galileo: “La Naturaleza está escrita con caracteres geométricos y es abordable únicamente mediante la matemática”³ o más denso “El Universo está escrito con lenguaje matemático”, quedaba realizar el proceso intelectual de matematización que exhibiera tan importante presupuesta propiedad del Universo: su matematicidad. Ésta será la tarea genial de Newton en sus *Philosophiae Naturales Principia Mathematica* (1687), donde establece las consideradas como las dos “grandes” primeras teorías físicas (físico-matemáticas) clásicas: la Dinámica newtoniana (o Mecánica clásica) y la Teoría newtoniana de la gravitación universal, que se expresan mediante magnitudes matemáticas integradas en leyes matemáticas, que permiten un contraste cuantitativo inmediato con medidas experimentales y otro de futuro mediante predicciones también cuantitativas.

Junto a estas teorías físico-matemáticas (matematizadas y ‘universales’), como he denominado versión fuerte, se alumbran numerosos esbozos de otras propiamente (y sólo) físicas relativas a ámbitos experimentales próximos (como la temperatura, la presión, la deformación) pero aún faltaría algo más de un siglo para que se iniciaran estudios propiamente matematizados de las teorías de la Electrostática (Coulomb), del calor (Fourier), óptica (Fresnel), electricidad (Ampère, Ohm, Maxwell), y magnetismo (Oersted).

En síntesis, pues, aquí y ahora, ciencias físico-matemáticas en el siglo XVIII en el sentido fuerte –el más radical, más importante, más de vanguardia en su actualidad- son las teorías de Newton, sus consecuencias y sus desarrollos.

² A partir de aquí, reproduciremos, actualizando algunos puntos y completando otros, nuestro trabajo: GONZÁLEZ DE POSADA, F. “Las ciencias físico-matemáticas: de Jorge Juan a Gabriel Císcar” en *La ciencia en la España ilustrada* que tuvimos el honor de coordinar en edición del Instituto de España, 2007.

³ BELTRÁN MARÍ, A. *Talento y poder*. Pamplona. Laetoli. 2006, p. 23.

El siglo XVIII, en el que vivirá Jorge Juan, será, por una parte, el de conocimiento, progresiva implantación y establecimiento definitivo del newtonianismo; por otra, el de desarrollo impresionante de la matemática, y, en consecuencia, de la matematización de las leyes de Newton y de sus corolarios. Tres figuras deben destacarse en este campo: Daniel Bernoulli, Leonhard Euler y Louis de Lagrange. El siglo se cerrará con la importante obra de Pierre Simon de Laplace, cuyos libros *Exposition du Système du Monde* y *Traité de mécanique céleste* significarán la coronación de Newton por medio de la exaltación de su obra. A partir de aquí, y en síntesis no muy exagerada, la historia continuaría de la siguiente forma: newtonianismo en ciencia, mecanicismo en física, determinismo en filosofía y en las ciencias sociales; la mecánica (ciencia físico-matemática) como la primera de las ciencias (Augusto Comte) será la ciencia a imitar.

En este contexto específico –sin ninguna pretensión de extensión erudita y sólo con la intensión en el tema del título, y también con esta intención- se pretende responder a estas preguntas: ¿qué se hace en España en el siglo XVIII en físico-matemática?, ¿qué se pudo hacer? He aquí la tesis: la respuesta se refiere, en exclusiva, a Jorge Juan, lo que hizo, lo que pudo hacer y las tensiones que sufrió para hacer lo que hizo y decir lo que quiso decir. Todo lo demás y todos los demás están fuera de este ámbito intelectual: juegan a física (experimental, inmediata) o escriben libros (docentes, no creativos) sobre la física (hecha y escrita fuera de nuestras fronteras) y en todo caso, comentarios de los mismos.

Y, por lo que respecta a Jorge Juan, centraremos su quehacer en la física incipiente, versión débil de las ciencias físico-matemáticas, y en las teorías de Newton, versión fuerte de las ciencias físico-matemáticas.

ELEMENTOS HISTÓRICO-CIENTÍFICOS MARCO

Como he resumido en otros lugares⁴ considero que es conveniente enmarcar la tarea y la obra escrita de Jorge Juan en el acontecer histórico de las ciencias físicas principales de la modernidad: la Astronomía y la Mecánica; el estudio de los cielos y el problema general del movimiento. Señalaré, a modo de hitos, los acontecimientos precedentes que constituyen momentos singulares del devenir científico.

1. Copérnico, en 1543, ya en el lecho de muerte, publica *De revolutionibus orbium coelestium*, editado en Holanda, en el que ofrece (sólo) como hipótesis matemática facilitadora de los cálculos planetarios la revolución de la Tierra alrededor del Sol (hecho en el que más que probablemente creería), quedando éste constituido en centro del Universo.

⁴ Por ejemplo, en GONZÁLEZ DE POSADA, F. “Jorge Juan: el físico newtoniano, teórico y experimental. Los pilares de su contribución original: Cádiz y la América Española, Discurso de ingreso, el 13 de noviembre de 2003, como Académico Correspondiente en Madrid de la Real Academia Hispano Americana de Cádiz”. En *Jorge Juan y su Asamblea Amistosa Literaria (Cádiz, 1755-58)* Madrid. Instituto de España. 2005, pp. 14-15.

2. Giordano Bruno, en 1584, publicaría en italiano en Londres tres relevantes libros de carácter metafísico: *Sobre la causa, el principio y el uno*, *Sobre el Universo infinito y los (innumerables) mundos* y *La cena de las cenizas*, obras que en sus consideraciones cosmológicas son de raíces copernicanas aunque descaradamente superadoras de la misma. Bruno acabaría su vida, tras muchos años de cárcel, en la hoguera de la Inquisición romana en el año 1600.

3. Galileo, en 1609-10, haciendo uso del anteojo que construyó, descubre montañas y valles en la Luna, manchas y protuberancias en el Sol y cuatro satélites de Júpiter. Se proclama abiertamente copernicano. En 1615 es obligado a abjurar del movimiento de la Tierra, se le prohíbe escribir y difundir la teoría heliocéntrica y se condena al sistema copernicano como ‘sospechoso de herejía’. En 1632 publica *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo* y es condenado en 1633.

4. Kepler, en 1609 y 1619, ofrece las tres leyes del movimiento de los planetas alrededor del Sol, leyes que describen la geometría de las trayectorias (elipses) y la cinemática de los movimientos (las leyes de velocidad areolar constante y de proporcionalidad de los cuadrados de los períodos con los cubos de los semiejes de las elipses).

Hasta aquí todo se había basado en observaciones, bien de apariencias bien de realidades, pero sólo de observaciones, a simple vista, con instrumentos mecánico-geométricos, o incluso con anteojos. Pero había una absoluta falta de *Teórica* –expresión usual en los textos de Jorge Juan-, de fundamentos físico-matemáticos.

Galileo, por otra parte, y como se ha recordado al principio, había explicitado con aceptable claridad su creencia científica acerca de que “la Naturaleza está escrita en lenguaje matemático”, expresión de fe en la naturaleza matemática del Universo. Establecida así, como creencia, la matemática, faltaba, prácticamente por completo, la matematización; es decir, el descubrimiento de la ley o de las leyes (que en todo caso habrían de ser matemáticas) que rigen el Cosmos, a las que se someten todos los fenómenos. Esta tarea será la que se ha de emprender y que culminará en Newton, en el ámbito de la modernidad.

5. Newton, en 1687, publicaría *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, considerada por muchos como la obra cumbre del pensamiento humano, y en todo caso de la ciencia moderna. En ella se introducen las dos teorías propiamente científicas primeras históricamente que se constituirían en modelos para las siguientes: la dinámica o ciencia del movimiento (por mediación de las tres leyes clásicas) y la atracción universal de los cuerpos (después denominada de la gravitación universal).

UN SIGLO XVII DE PROGRESIVA DECADENCIA ESPAÑOLA⁵

El siglo XVII, a los efectos de este estudio, se inicia en 1660 con un conjunto de acontecimientos singulares: a) la muerte en la hoguera de la Inquisición romana de Giordano Bruno; b) el traslado de la *dictatorial* Toscana a la *liberal* Venecia de Galileo (Universidad de Papua); c) el encuentro de Tycho Brahe con Kepler al servicio del emperador Rodolfo II en Praga; y d) la publicación del *De magnete* de William Gilbert. “En torno a Galileo” (Ortega y Gasset) nace alrededor de 1600 la ciencia moderna, en realidad lo que hoy se llama física, y con ella propiamente la Edad Moderna del pensamiento.

El siglo XVII es el siglo de la “nuova sciencia”, de Galileo y Kepler (que establecerían definitivamente el sistema copernicano, aunque fuera condenado públicamente por la Iglesia católica –Paulo VII, 1612- y rubricado con motivo de la admonición a Galileo en 1616), de Descartes y de Newton que completaría la creencia galileana de que la Naturaleza está escrita en lenguaje matemático construyendo un proceso de matematización por el cual la propiedad presupuesta de matematicidad del Universo quedaría establecida mediante su matematización. En Europa nace la Física Moderna, la “ciencia por excelencia”, la “gran aportación de Europa a la historia de la civilización humana”, la “gloria de Occidente” que decía Ortega.

La España del siglo XVII en el tema presente, y en síntesis apretada, se había caracterizado por: a) Una desmoralización política y social creciente durante los reinados de los denominados Austrias menores; y b) por la aparición, en sus postrimerías, de los considerados “novatores” de actitud, de compromiso, de ilusión, de miedo, de reclusión, ... pero sin aportación positiva de nada nuevo.

Quizás lo más significativo del último tercio del siglo XVII fuese Hugo de Omerique (Sanlúcar de Barrameda, Cádiz, 1634; Cádiz, 1698) con su *Análisis Geométrica*, avecinado en el Cádiz progresivo de la segunda mitad del siglo XVII, donde editó la obra que ha llegado hasta nosotros.

Newton conoció el *Análisis Geométrica*, y en una carta privada escribió:

“Señor: He examinado el *Análisis Geométrica* de De Omerique y lo considero una obra juiciosa y de valor que responde a su título, porque expone en la forma más sencilla el medio de restaurar el *Análisis* de los antiguos, que es más sencillo y más ingenioso y más a propósito para un geómetra que el *Álgebra* de los modernos. Así su método le conduce generalmente a soluciones más sencillas y elegantes que aquellas otras obtenidas por el *Álgebra*”⁶

⁵ Por lo que respecta a este tema, relativo a la ciencia en los siglos XVII y XVIII, el autor se ha referido a él en 1) *Libros antiguos de Física en la Biblioteca Histórica de la Universidad Complutense* (Catálogo de la exposición de dicho título). Madrid Universidad Complutense, 2003; 2) *Jorge Juan: el físico newtoniano*, Op. cit. 2005 y 3) *La ciencia en la España de la Ilustración*, (coord.). Valencia Real Academia de la Cultura Valenciana. 2007 (pendiente de publicación).

⁶ Citado en LÓPEZ PIÑERO, J. M. et al : *Diccionario histórico de la Ciencia moderna en España*. II. Barcelona. Península. 1982, pp. 128-130.

LA CIENCIA EN ESPAÑA EN LAS PRIMERAS DÉCADAS DEL SIGLO XVIII: JORGE JUAN

La cerrazón cultural de España durante el siglo XVII –en realidad, desde el entorno de 1550 correspondiendo a la sucesión de Carlos I por Felipe II- a las nuevas ideas, sobre todo a las propias de la revolución científica, supuso un creciente aislamiento intelectual. En resumen, podría caracterizarse por una defensa estrecha, literal y rígida de la “doctrina oficial católica” integrada por: a) cosmología aristotélico-ptolemaica; b) filosofía escolástica; y c) autoridad “literal” de la Biblia. Estos elementos bastaban para describir y conocer los fenómenos del mundo natural. Dominaba un ambiente contrario a las novedades *por serlo*, por el mero hecho de ser novedades, que suponían, presupuestamente, una amenaza para el orden social. Y en consecuencia: decadencia, crisis de pensamiento, abandono intelectual académico y político social económico.

En el siglo XVIII se abren algunas esperanzas por las siguientes razones.

a) La posibilidad, con la llegada de los Borbones, de una cierta apertura, de modo que se establecen unas bases mínimas para la difusión de las ideas y para el desarrollo de la actividad científica, con una significativa presencia de autores y de libros franceses. Esto se acompaña con una mayor producción y mejor distribución de libros, así como con una creciente liberalización y mayores medios para la edición en la medida que se alcanzan mejores condiciones económicas.

b) La publicación de obras de los *novatores* encienden fuertes polémicas con los aristotélicos sobre los distintos aspectos surgidos con la revolución científica.

c) La creación de nuevas instituciones, con la finalidad primordial de reorganizar la armada y el ejército, como la Academia Militar de Matemáticas de Barcelona (1715), el Real Seminario de Nobles de Madrid (1725) y la Academia de Guardas Marinas de Cádiz (1727), instituciones las dos últimas que estarían tan ligadas a Jorge Juan.

En el contexto descrito en los párrafos anteriores se producirá una nueva y mayor apertura a Europa, debida a la actuación de dos Secretarios de Estado, primero de Patiño y después del Marqués de la Ensenada. Y en este nuevo marco se presentará la oportunidad, que no se desaprovecha, de participar en la expedición organizada por la *Académie de Sciences de Paris* para estudiar la forma de la Tierra, que consistía en determinar la longitud del arco de meridiano terrestre en el ecuador asociado a un ángulo central de un grado.

Jorge Juan y Santacilia (1713-1773) con Antonio de Ulloa y de la Torre-Guiral (1716-1795) fueron los seleccionados por España para participar en dicha expedición. De este tema se ha escrito mucho.

Frente a la tradicional ausencia de España en la creación de la nueva ciencia, y a su nula participación en la revolución científica, consecuencias del aislamiento intelectual y creativo, se ofrecía una oportunidad singular. Gracias a esta expedición y a esos dos jóvenes marinos España contribuyó al progreso

científico y técnico de Europa. Tuvieron como misiones encomendadas: 1) Vigilar a los científicos franceses; y 2) Aprender de ellos: a) técnicas de medición; y b) los complejos cálculos geodésicos; y demostrarían pericia, capacidad, valor y criterio independiente.

En 1743 regresan La Condamine y Bouguer a Francia. En 1745 regresa Jorge Juan desde El Callao a Europa desembarcando en Brest. En París se le nombra Académico correspondiente y a primeros de 1746 regresa a España como experimentado marino y experto científico que había participado en una de las mayores empresas científicas de todos los tiempos, siendo una *autoridad* científica reconocida.

Por lo que respecta al ámbito científico, Juan, que ha aprendido mucho de los académicos franceses, se ha hecho un físico experimental, experto en diferentes campos por los problemas con los que ha tenido que enfrentarse: observaciones astronómicas, trabajos geodésicos complejos por las dificultades de la orografía andina para la triangulación, cálculos adecuados para resolver el problema de la traslación de los datos al nivel del mar, tratamiento de la desconocida aberración atmosférica, cálculos barométricos de alturas, cálculo de las posiciones, cambios de temperaturas extremas y de humedad con su influencia en los instrumentos, y todos los inherentes a la dificultad de la unidad de medida.

Y por lo que respecta a la ingeniería naval y portuaria y a la navegación, debido a los frecuentes requerimientos del virrey y de otras diferentes autoridades, ha adquirido extensos conocimientos prácticos de fortificaciones, arsenales y construcción naval, levantando cartas y planos.

En resumen, relativo a la historia de la ciencia en España, Jorge Juan contribuyó a la resolución del problema de la forma y del tamaño de la Tierra por la fortuna de haber participado en la considerada como “mayor expedición científica de todos los tiempos”.

*¿COPERNICANISMO O NEWTONIANISMO?*⁷

No es frecuente el uso del término de difícil expresión *newtonianismo*, que he querido introducir y reiterar en los párrafos anteriores, por ser, a mi juicio, el apropiado para el siglo XVIII en su fundamento y contenido científico. Es, sin embargo, de extendido uso, en numerosos ámbitos, el término *copernicanismo*, que sería apropiado en la segunda mitad del siglo XVI y a lo largo del siglo XVII, pero trasnochado, repito que desde la perspectiva intrínseca del desarrollo de la ciencia, en el siglo XVIII. No obstante, es el que se utilizó con harta frecuencia, si no con casi exclusividad, y no sólo eso sino que se sigue utilizando hoy. Pero, insisto, no es propiamente correcto, por insuficiente, su uso referido al siglo XVIII cuando se habla de ciencia.

⁷ Reproducción de GONZÁLEZ DE POSADA, F. *Jorge Juan. Op. cit.* 2005, pp. 15-18, donde se introduce una tesis de interpretación histórica claramente divergente con las usuales, tesis que se desarrolla más adelante.

Los biógrafos de Jorge Juan e historiadores de esa época han situado al personaje y a su obra bajo la perspectiva del *copernicanismo*, perspectiva que puede ser ciertamente adecuada desde la orientación de la historia social de la ciencia, incluso de la historia del pensamiento a “nivel popular” y del eclesiástico –y en el caso de España, incluso en las universidades-, que enfrentan los “dos sistemas máximos” que decía Galileo: el *sistema tolemaico* (aristotélico-escolástico-escriturístico) y el *sistema copernicano*, lo que constituía una disputa ya clásica desde principios del siglo XVII.

Por mi parte debo decir que esta disputa del seiscientos no continúa con relevancia alguna en la física del setecientos que se desenvuelve en otra esfera: no se trata ya de qué sistema es coherente con la literalidad de las Sagradas Escrituras o con las observaciones científicas; *el problema central* es de otra naturaleza ya esbozada en el siglo XVII: *¿Existen leyes matemáticas que rigen el Cosmos? ¿Las de Newton, explican los hechos observados? ¿Los descubrimientos astronómicos y las experiencias terrestres expresan las consecuencias que predicen dichas leyes?*

Jorge Juan se encuentra en el cenit de la problemática de la ciencia europea del siglo XVIII. Su diálogo es con Newton, su obra la escribe desde la plena aceptación de la de Newton. Su diálogo no es ni con su conciencia religiosa, que puede considerarse como de creyente firme, ni con las imposiciones eclesiásticas. Sus reflexiones, en torno a los *Principia*. Sus observaciones astronómicas, sus experimentaciones mecánicas e invenciones y concepciones lo son para contrastar, constatar, comprobar, reafirmar, justificar, basar en, y reconocer la genial obra de Newton, su Teórica, *la Teórica*, la única. No cita, prácticamente nunca, a Copérnico, no refiere nunca el *De revolutionibus*; ni este autor ni esta obra tienen sentido en su contexto intelectual, ambos pertenecen a otra época. Su punto de partida, su referencia permanente y su meta es Newton. Ampliemos un poco esta consideración, en esta primera parte contextual antecedente del análisis de la presencia de Newton en la obra de Juan, con algunos puntos.

1. Debe considerarse a Jorge Juan, en tanto que físico e ingeniero, como *investigador experimental*. Lo acreditan sus nueve años en la América española, en la expedición para medir el arco de meridiano asociado a un grado en el Ecuador y las experiencias continuas regladas en la bahía de Cádiz con diferentes objetos flotantes y modelos de barcos. Precisamente por esto -su impresionante quehacer experimental: concienzudo, paciente, reiterativo, etc.- *sorprende su capacidad intelectual en la búsqueda de “teórica”*, es decir, de búsqueda de unas concepciones y formulaciones teóricas de las que deducir unas consecuencias contrastables con las experiencias.

2. En los abundantes estudios sobre Jorge Juan se han destacado numerosos aspectos y momentos de su vida. El más próximo a nuestro tratamiento es el que se ha señalado como *copernicanismo*.⁸ En nuestro trabajo el tema es otro.

⁸ En este sentido pueden verse: PESET PESET LLORCA, V. (1965): “Acercas de la difusión del sistema copernicano en España”, *Actas del Segundo Congreso Español de Historia de la Medicina*.

Insistamos. Por copernicanismo puede entenderse la visión del Sistema Solar que sitúa en el centro al Sol y que los planetas, la Tierra incluida, giran alrededor de él: la Tierra es un planeta, el Sol ocupa lugar central, la Tierra orbita alrededor del Sol; en resumen, descripción geométrica del Sistema Solar intrínsecamente válida. La perspectiva de Jorge Juan no era la copernicana ni tampoco la galileana, en ningún caso. Era fundamentalmente teórica, necesitaba una fundamentación teórica de la que deducir las descripciones y en la que justificar las observaciones como consecuencia de esas concepciones teóricas, y así toda su obra científica. Necesita de un por qué físico-matemático en que apoyarse. No es correcto, a mi juicio, pues, considerar a Juan copernicano (aunque consecencialmente lo fuera), como no lo fue tampoco Newton (el más genial, presupuestamente, de todos los hombres). Jorge Juan fue newtoniano, en las teorías de Newton encontró la justificación de sus observaciones y los fundamentos de sus investigaciones.

3. Es verdad que todavía en el siglo XVIII el problema capital de tensión entre la inteligencia y la fe (mejor debería decirse, y el poder de la Iglesia) se denominaba copernicanismo; es decir, radical y esencialmente si la Tierra estaba inmóvil (exigencia literal de las Sagradas Escrituras) y era centro del Universo o si se movía (alrededor del Sol) como había sugerido Copérnico y habían afirmado desde diferentes perspectivas y con diversos argumentos, entre otros, Giordano Bruno, que moriría en la hoguera de la Inquisición romana, Galileo, sometido a proceso en el que se le exige adjurar de su copernicanismo y renunciar a defenderlo, y Kepler que exhibe las leyes geométricas y cinemáticas que describen el funcionamiento del Sistema Solar. Pero hasta aquí no había una teórica, no existían unas leyes universales. Faltaba Newton, y sobre todo su *Philosophiae Naturalis Principia Matemática*, y de ésta sus “Definiciones” y “Axiomas o Leyes del Movimiento” que constituyen unos capítulos iniciales. En éstos, en Newton y sus *Principia*, se fundamenta Jorge Juan y sólo en éstos; y en todas sus experiencias ... que estaban, por lo común, de acuerdo con las teorías de Newton. Y de éstas se deducían como consecuencias las afirmaciones de Copérnico así como las leyes geométricas y cinemáticas de Kepler. Jorge Juan no fue copernicano, sí fue newtoniano.

4. La obra de Jorge Juan, como he anticipado, puede considerarse como de *diálogo en lo fundamental con Newton*, de modo que representa: a) una ampliación y desarrollo de las concepciones newtonianas con elaboración de nuevas definiciones, axiomas, y escolios; b) una actualización de Newton en el siglo XVIII por el uso de las ecuaciones algebraicas y de las formulaciones

Salamanca, vol. I. 1965, pp. 309-325. y NAVARRO BROTONS, V. “Contribución a la historia del copernicanismo en España”, *Cuadernos hispanoamericanos*, 283(1974), pp. 3-24; *Diccionario histórico*. II. Op.cit. 1983; “La Física en la España del siglo XVIII”. En *Historia de la Física hasta el siglo XIX*, Madrid: Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. 1983, pp. 327-342.

diferenciales e integrales; y c) un enriquecimiento de las aplicaciones de la Mecánica de Newton a diferentes campos de la Mecánica clásica y sobre todo de la teoría del buque, de la navegación y de las máquinas.

5. Con frecuencia historia de la ciencia es historia social de la ciencia. Este trabajo, indudablemente de historia de la física y muy principal de historia de la física española, deseo que sea expresión del *diálogo intelectual de Juan con la obra de Newton*, en la fase crucial del expansionismo del newtonianismo, antes de que se estableciera éste definitivamente y con él el determinismo y el mecanicismo. Se trata de situar y fundamentar sus creencias científicas y de contextualizar su pensamiento.

2. JORGE JUAN: SÍNTEISIS BIOGRÁFICA⁹

Jorge Juan, afirmo, es “la” *figura* científica española del segundo tercio del siglo XVIII y la única que, de hecho, se dedica a la físico-matemática; como escribe él, a la *Teórica*, en la que cree al modo de Galileo y en la concreción *matematizada* de Newton.

Situemos su vida y obra en la historia por mediación de diferentes síntesis cronológicas que manifiesten con un golpe de vista su papel de *ilustrado científico e ingeniero* desde su condición de marino.



⁹ Se reproducen casi íntegramente en esta segunda parte, de manera adecuada, escritos precedentes parciales [de GONZÁLEZ DE POSADA (2006) y (2005b)] con objeto de disponer aquí de una visión aceptablemente completa de Jorge Juan como físico experimental y como físico-matemático.

Datos biográficos básicos

- 1713 n. Novelda (Alicante).
- 1729 Ingreso en la Real Compañía de Guardias Marinas, Cádiz.
- 1735-1744 Expedición geodésica al Perú, con Ulloa y académicos franceses.
- 1752 Capitán de la Real Compañía de Caballeros Guardias Marinas, Cádiz.
- 1760 Jefe de Escuadra.
- 1770 Director del Seminario de Nobles de Madrid.
- 1773 m. Madrid.

Su obra escrita

- 1748 *Observaciones astronómicas y físicas hechas de Orden de S. Mag. en los reynos del Perú*, en colaboración con Ulloa y redactada por Jorge Juan. Madrid: J. Zúñiga.
- 1748 *Relación histórica del viaje a la América meridional ...* en 4 volúmenes, en colaboración con Antonio de Ulloa y redactada por éste. Madrid: A. Marín.
- 1749 *Disertación histórica y geographica sobre el Meridiano de Demarcación entre los Dominios de España y Portugal...* Madrid: A. Marín.
- 1757 *Compendio de navegación*. Cádiz: Imprenta de Guardias Marinas.
- 1765 (Inédito) *Estado de la astronomía en Europa*.
- 1771 *Examen marítimo*, en 2 volúmenes. Madrid: F. Manuel de Ulena.
- 1773 Año de su muerte. 2ª ed. de las *Observaciones, post mortem*, con el *Estado de la Astronomía en Europa*. Madrid: Imprenta Real.
- 1774 *Estado de la Astronomía en Europa* con la *Breve noticia de la Vida del Excmo. Sr. D. Jorge Juan ...*, edición de su Secretario D. Miguel Sanz.
- 1826 *Noticias secretas de América*. Londres: R. Taylor.

Su obra institucional

- 1752 Real Compañía de Caballeros Guardias Marinas, Cádiz. Reforma de los estudios de la Academia de Guardias Marinas.
- 1753 Crea el Observatorio Astronómico de Cádiz, primero de España.
- 1755 *Asamblea Amistosa Literaria*, academia “privada” de ciencias.
- 1766 Embajador extraordinario en la Corte de Marruecos.
- 1770 Dirección del Real Seminario de Nobles de Madrid.

Su obra de ingeniería

- 1750 La construcción de los navíos y demás fábricas navales (Ingeniería naval).
- 1750 Proyecto y dirección de los Arsenales y sus obras, asociado de los ingenieros y constructores (Ingeniería portuaria).
- 1750 Arsenal de Cartagena.

1751 Proyecto de llevada de aguas desde la Sierra de Alcaraz a los campos de Lorca, Totana y Plan (Ingeniería hidráulica).

1751 Ventilación de las minas de Almadén. (Ingeniería de minas).

1751 Establecimiento del Arsenal de El Ferrol.

1752 Determinación del nuevo general método de construcción para los Reales Astilleros para todo tipo de construcciones navales (nueva Construcción naval española): navíos y fragatas de todo porte; jabeques, paquebotes y bombardas; lanchas, botes y sereníes; cuadernos sueltos para cada tipo de buque; etc.(Ingeniería naval).

1753 Obras de pilotaje (terreno fangoso hasta suelo sólido) para las gradas de los diques que hubieran cedido con el peso de los buques acabados. (Ingeniería portuaria)

1754 Reconocimiento de la Fábrica de cañones de La Cavada.

1754 Construcción de la grada circular de Cartagena (único ejemplo en Europa).

1757 *Compendio de Navegación*.

1757 Extinción de fuego y reparación de minas de Almadén.

1758 Reparación de los dos diques de Cartagena (reconocimiento de daño, causa y remedios).

1758 Reconocimiento de las minas de plomo de Linares: reparación y búsqueda del metal

1759 Dirección de las obras de los diques de Cartagena.

1761 Dique de Ferrol y demás obras del Arsenal.

Su condición de académico

En el extranjero: a) Real Academia de las Ciencias de París; b) Real Sociedad de Londres; y c) Real Academia de las Ciencias de Berlín.

Académico por sí mismo: a) 1752. Comisionado para redactar las Ordenanzas de una Sociedad Real de Ciencias (Academia de Ciencias) de Madrid; y b) 1755. Fundador y Presidente de la *Asamblea Amistosa Literaria*.

Académico español: Real Academia de Nobles Artes de San Fernando, siendo Académico de Honor (1767), Académico de Mérito (1768) y Consiliario (1770).

3. LA EXPEDICIÓN GEODÉSICA AL VIRREINATO DEL PERÚ: MEDICIONES Y CÁLCULO DE UN ARCO DE MERIDIANO ASOCIADO A UN GRADO EN EL ECUADOR

Los marinos Jorge Juan y Antonio de Ulloa se harían físicos y astrónomos en su colaboración con los científicos franceses. Tras la estancia en el Ecuador Jorge Juan quedaría convertido en físico-matemático, Ulloa desempeñaría múltiples papeles de diferentes naturalezas.

En la cordillera de los Andes (Virreinato del Perú, en el actual Ecuador) se desarrolla la primera etapa de Jorge Juan como físico en la que se forja físico (e ingeniero) experimental y astrónomo observacional. En la América española tuvo lugar la primera contribución científica de nuestro país para el establecimiento de las ciencias físico-matemáticas.¹⁰

Esta expedición supondría la incorporación de España, no sin dificultades, a la ciencia moderna ya establecida en Europa.

En este párrafo se pretende caracterizar, sintéticamente, el *problema objeto de estudio*. Recurriendo al lenguaje matemático actual del entonces naciente cálculo diferencial, coetáneo con la expedición, puede decirse que son no sólo convenientes sino necesarias establecer las *condiciones iniciales* y de *contorno* adecuadas para situar correctamente la expedición y así definir el problema y entender su desarrollo. Con este fin se consideran tres temas: a) el contexto europeo en lo referente a la *ciencia primera*, la mecánica; b) la caracterización del problema: la *forma* y el *tamaño* de la Tierra; y c) la organización –los primeros pasos- de la expedición.

El contexto europeo

En primer lugar, conviene destacar algunas notas que caracterizan a la Europa de la época en lo concerniente a la *ciencia primera* –*ciencias físico-matemáticas* en el sentido de este trabajo- (es decir, del movimiento y de la gravitación: Mecánica y Astronomía, hoy Física)¹¹.

Primera. El nacimiento de la *ciencia moderna*, construida en el siglo XVII, fundamentalmente por Galileo y Newton.

Por lo que respecta a Galileo, interesa aquí señalar sus dos creencias básicas. Una, de naturaleza religiosa: el Universo es obra de Dios; otra, de naturaleza científica: el Universo –la Naturaleza toda- está escrito en lenguaje matemático.

Y decir que Newton, galileano, asume la matematicidad de la Naturaleza e inicia con extraordinario éxito el proceso de matematización de la misma en su magna obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, 1687. Sus leyes de la Dinámica y de la Gravitación explicarán científicamente el funcionamiento del Cosmos.

Segunda. El movimiento académico como nueva vía, ante el anquilosamiento de las universidades, para la creación, discusión y difusión del conocimiento

¹⁰ El texto de este capítulo II es una actualización de las conferencias pronunciadas en el Ateneo de Cádiz en el acto de recepción como ateneísta (24 de enero de 2005) y en la cátedra “Jorge Juan” (Universidad da Coruña-Ministerio de Defensa) de Ferrol en el acto de inauguración del curso 2005-06 (3 de noviembre de 2005). Una primera versión en GONZÁLEZ DE POSADA F. “La expedición geodésica al Virreinato del Perú: Jorge Juan y Antonio de Ulloa. Mediciones y cálculo de un arco de meridiano asociado a un grado en el ecuador”, *Ateneo*, revista cultural del Ateneo de Cádiz. Cádiz. Ateneo de Cádiz. 2006, pp. 51-71.

¹¹ Puede verse GÓNZÁLEZ DE POSADA, F. et al. *Libros Antiguos*. Op. cit. 2003

científico.¹² Precisamente en este ámbito surgirá el acontecimiento que nos reúne: la expedición al virreinato del Perú.

Tercera. El mismo trasfondo intelectual del que surgen las academias, en un sentido más general y universal, hará aflorar la época que se denominaría Ilustración que puede caracterizarse, en síntesis apretada y en la línea de este contexto, como de tránsito definitivo –o cambio de lema- del entonces tradicional “Dios es la verdad” instalado en el medioevo al novedoso “La verdad es la ciencia”.

Y cuarta. Con el deseo de recordar a Ortega hacerlo aquí y ahora con su definición de Europa: “Europa = Ciencia = Física”¹³.

Por lo que se refiere a España, en lo relativo a esta ciencia primera, puede recordarse que no existió propiamente ciencia –ni “hacer ciencia nueva” ni normalmente “difundir la que se hacía fuera”- desde los comienzos del reinado de Felipe II. Inicialmente poco, y con enormes dificultades, se logró con la difícil recuperación asociada al “afrancesamiento borbónico” de nuestra cultura con la llegada de Felipe V; paulatinamente algo se mejora, con una ilustración lenta y recortada. En este contexto sólo se crearían las Academias de la Lengua, de la Historia y de Bellas Artes.

Y en esta época tuvo lugar la expedición al Ecuador y en y de ella surgió la figura singular de Jorge Juan, primer y máximo exponente de nuestra Ilustración.

Cádiz fue más Europa que el resto de España por la cantidad de europeos en ella establecidos y por la gran circulación de personas, ideas y mercancías (libros entre ellas) por su puerto. En Cádiz se vivirá también más patriotismo, pero no tan de espaldas a la inteligencia como en el resto de la España de ese tiempo. El segundo tercio del siglo XVIII fue la época más brillante de la ciudad.

El problema objeto de estudio: forma y tamaño de la Tierra

El problema científico que se plantea consiste en lo siguiente: conocidos (porque como tal eran aceptados con normalidad y generalidad en la Europa de 1730, no en España) los movimientos de rotación de la Tierra sobre su eje y de traslación en su órbita elíptica alrededor del Sol, preocupa a los científicos el conocimiento de la forma y tamaño de la Tierra.

Las ideas que se concretan con esta finalidad pueden expresarse de manera esquemática en las siguientes.

¹² Puede verse GONZÁLEZ DE POSADA, F. *La Academia de Ciencias e Ingenierías de Lanzarote en el contexto histórico del movimiento académico*. Discurso de ingreso en la Academia de Ciencias e Ingenierías de Lanzarote.. 2003. (Col. *Discursos Académicos* nº 1).

¹³ Puede oírse en el ciclo de conferencias dictado en el Instituto de España (de momento grabado) del 25 al 29 de octubre de 1999: “La Física del siglo XX: su presencia en la obra de Ortega”. De pasada puede decirse que por este derrotero no han transitado los constructores de la constitución europea y que ni siquiera los críticos de la misma en España la han recordado.

Primera. Determinar el tamaño (radio) de la Tierra y la forma de achatamiento.

Segunda. Poner fin a las dudas sobre esos problemas acerca de la Tierra, determinando qué teoría era correcta.

Tercera. Para ello habría que medir arcos de meridiano y obtener –calcular– el valor del arco asociado o correspondiente a 1° en el centro de la Tierra, midiendo en las proximidades del ecuador y compararlo con otro en las proximidades del polo norte, en Laponia.

Cuarta. Conocida la forma de la Tierra podría cartografiarse ésta situando correctamente longitudes y latitudes.

a) *El problema de la forma de la Tierra*

Tres cuestiones relacionadas, pero intelectualmente separables, conviene distinguir.

Primera. La Tierra es redonda. Lo sabe todo el mundo. No constituye problema para nadie: ni científico, ni filosófico, ni religioso. Por tanto, problema ya definitivamente resuelto e integrado culturalmente con generalidad.

Segunda. La Tierra gira sobre su eje (movimiento de rotación) y orbita alrededor del Sol (movimiento de traslación). Problema para filósofos (¿) y de naturaleza, en aquellos momentos, religiosa, especialmente en España donde perturba el copernicanismo.

Tercera. La Tierra -la cuestión primera resuelta- es redonda, es decir redondeada, oblonga, pero con montañas, valles y un “nivel del mar” presupuestamente “fijo/constante/medio”. Pero ¿cómo?, ¿cuánto?, ¿achatada por el ecuador o por los polos?, ¿“melón” o “sandía”? Problema exclusivamente científico, y sólo científico, si se refiere sólo al punto primero, que es redonda (sin relacionarla con los movimientos). Por tanto, cuestión posible, intrínsecamente no se trata de un problema filosófico ni religioso para la época.

En este punto se enfrentan dos opiniones.

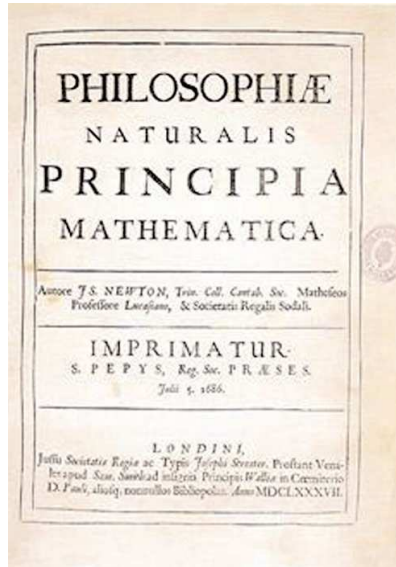
Una. Giovanni Domenico Cassini, director del Observatorio de París, quien como consecuencia de mediciones de arcos de meridiano realizadas en Francia ha llegado a la conclusión de que “la Tierra es un elipsoide alargado en el sentido del eje de rotación” (“melón”), coincidente con el punto de vista postulado por Descartes de que la Tierra era un esferoide prolato, alargado por los polos. Debe destacarse su famosa obra *Éléments d’Astronomie*.

Para Newton la conclusión de Cassini no era correcta y se debía a errores en las mediciones o en la fijación de las estrellas.

Otra. Isaac Newton, en su obra *Philosophiae Naturalis Principia Mathematica*, (Libro 3, Proposición 19), “calcula” que la Tierra es un esferoide achatado por los polos (“sandía”). En la obra construye la Teoría de la Gravitación y expone, entre otros muchos, los dos problemas teóricos de especial interés siguientes: 1) Determinar la proporción del eje de un planeta a

los diámetros perpendiculares a él; y 2) Determinar y comparar entre sí los pesos de los cuerpos en las diversas regiones de la Tierra.

Y concluye que la Tierra es un elipsoide achatado por los polos” (“sandía”).



Portada del libro de I. Newton.

b) Físico-matemática: ecuaciones para los cálculos

Entiendo, aunque no lo consideren así los editores, que no deben eludirse las fórmulas matemáticas en los considerados “trabajos de divulgación” ya que ayudan a quienes las entienden y pueden evitarse por quienes no.

En el caso presente los elementos teóricos necesarios para el estudio del problema al que se enfrenta la expedición son de especial sencillez formal matemática. En síntesis -utilizando notaciones hoy usuales y recordando que el valor de la constante G de la gravitación universal newtoniana no se conocía entonces-, las consideraciones físico-matemáticas serían las siguientes.

Ley de la gravitación universal de Newton

Se expresan a continuación de modo correlativo las tres ecuaciones siguientes: a) de la ley de la atracción (fuerza \vec{f}) general de dos cuerpos con masas inerciales m y m' , siendo r la distancia entre los centros de gravedad respectivos y \vec{r} el versor (vector unitario) de la dirección que los une; b) de la intensidad $i_t = i_0(1 + \alpha \Delta t)$ del campo gravitatorio creado por el planeta Tierra, de masa M_T ; y c) de la aceleración de la gravedad terrestre en los puntos situados a una distancia R_T del centro de la Tierra:

$$R_r = \sqrt{G \frac{M_r}{g}} = \frac{k}{\sqrt{g}}$$

Peso de los cuerpos

El peso de un cuerpo de masa m en la superficie de la Tierra (fuerza con que ésta lo atrae hacia el centro) está ligado con la aceleración g mediante

$$P = mg \Rightarrow g = \frac{P}{m}$$

Radio de la Tierra

La expresión del radio de la Tierra (distancia al centro) en un punto determinado puede obtenerse directamente de la última de las ecuaciones del primer conjunto, de modo que su valor se relaciona exclusivamente con el de g en dicho punto, dado que k es constante

$$\frac{P}{g} (= \frac{k}{m'})$$

Relojes de péndulo

El período T de la oscilación de un péndulo depende de la longitud l de la varilla y de la aceleración de la gravedad g en el lugar considerado según la fórmula

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

de manera que, por ejemplo, si varía g habría que variar l si se pretendiera conservar el período T .

Longitud de una varilla

La longitud de una regla (por ejemplo, de la varilla de un péndulo) es variable (especialmente con la temperatura y en cuánta según la naturaleza del material). La longitud l_t a una temperatura t se relaciona con la longitud l_0 a una temperatura t_0 mediante la fórmula

$$l_t = l_0 (1 + \alpha \Delta t)$$

donde $\Delta t = t - t_0$, y α es el coeficiente de dilatación lineal de la varilla.

En resumen, los comisionados para el estudio y la resolución del problema tenían trabajo de investigación. Se trataba de calcular las longitudes de arcos de meridiano para un mismo valor de ángulo central (1 grado), uno situado en las proximidades del Ecuador y otro situado en las proximidades del Polo Norte.¹⁴

¹⁴ En diferentes obras hemos escrito sobre la organización de la expedición, los académicos franceses de la misma, el desarrollo de los trabajos topográficos y astronómicos, de los problemas científicos que tuvieron que abordar y de los resultados de la expedición para Francia y para España.

RESULTADOS PARA ESPAÑA



Antes de concretar algunos aspectos de los resultados de la expedición para España, por continuar con el tema en marcha, parece oportuno decir que nuestra actitud presente debe integrar, a mi juicio, las siguientes características.

Primera. Rebajar notas de triunfalismo en la construcción de la historia de la ciencia española.

Segunda. Elevar cierta protesta, aportando las contribuciones positivas de nuestros marinos, aun reconociendo que la expedición en sí constituyera un auténtico fracaso social y científico.

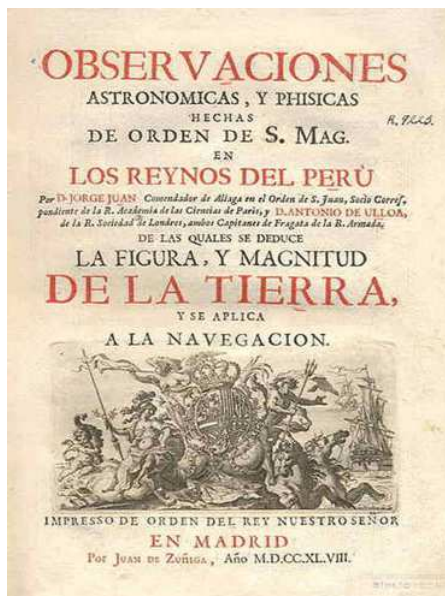
Tercera. Y, por otra parte, mejorar (aceptar) el reconocimiento de que en España no dimos demasiada importancia ni al tema de la expedición, ni a la verdad científica, ni a nuestros autores. ¡Cuánto trabajo les supuso a Juan y a Ulloa publicar sus obras! ... y ello se logró cambiando parte de sus ideas y renunciando a otras. Y, ¡qué poco caso les hicimos!, ¡qué poco aprecio les manifestamos! ... tan poco, valga como anécdota, que de los restos de Jorge Juan no se preocuparon sus coetáneos y aún hoy no sabemos dónde está enterrado.

¡Bien! Pero conviene precisar algunos resultados importantes para España.

Primero, y fundamental. El aprendizaje científico experimental –y también teórico– de Juan y Ulloa. Estuvieron casi diez años en Perú realizando mediciones geodésicas, observaciones astronómicas, etc., en relación directa con auténticas figuras de la ciencia europea del momento.

Segundo. La ordenación de cálculos y apuntes en Madrid, en un ambiente político de especial consideración por la presencia en el poder del Marqués de la Ensenada, para preparar la edición de sus obras. Sus libros: las *Observaciones* y la *Relación Histórica*, constituyeron obras de relieve en el panorama de la cultura europea del siglo XVIII alcanzando notable difusión.

Las *Observaciones* fueron traducidas al alemán (1751), francés (1752), inglés (1758, 60, 72, 1806, 1807) y holandés (1771). De la *Relación histórica* se hicieron ediciones en francés (1752, Ámsterdam y París) e inglés (1772). En este ciclo de conferencias conviene insistir en el hecho de que nuestro marinos estuvieron retenidos en Madrid escribiendo sus obras y que éstas se editaron en la capital.



Tercero. Jorge Juan abandonaría de hecho la usual condición de ‘marino’ para desempeñar funciones múltiples basadas en sus conocimientos científicos y técnicos y en su gran capacidad intelectual y dotes de gobierno. Ulloa regresaría más tarde a dicha condición de ‘marino’, por encima e independientemente de sus cargos de relieve, y concluyó como tal, y siendo tal, su vida en la actual San Fernando.¹⁵

Cuarto. La Universidad de San Marcos de Lima disfrutó de Godin, 1744-48, como profesor de Matemáticas y Astronomía. Posteriormente la Academia de Guardias Marinas de Cádiz y la *Asamblea Amistosa Literaria* hasta su muerte en Cádiz.

Unas consideraciones finales de la expedición acerca de Jorge Juan

Finalmente, aunque signifique reincidir una y otra vez en consideraciones ya escritas y por escribir, debo hacer explícitas unas referencias especiales al

¹⁵ A modo de caricatura, pero precisa, y como inicio del desarrollo del tema de la que considero tradicional leyenda de *dualidad unitaria*, me atrevo a decir que, referido a la segunda mitad del siglo XVIII, Jorge Juan es a Cádiz como Ulloa es a San Fernando.

aprendizaje fundamental de Jorge Juan en la América española, en el seno de la expedición francesa, y hacerlo en forma sintética.

Primera. Jorge Juan, hombre de fe, *es galileano*. El Cosmos, creado por Dios, “está escrito en lenguaje matemático” –la *Teórica*–.

Segunda. Jorge Juan *se hace* newtoniano en la América española. Newton constituye luz científica. Juan, científico moderno, sigue a Newton. Los “cultos españoles” de la época pelean sin ciencia, y así se plantea y se vive el problema del *copernicanismo*, que para Juan, como para la ciencia europea de su época, es mera consecuencia del *newtonianismo*. El marino español acepta la *Teórica* de Newton.

4. JORGE JUAN, FÍSICO-MATEMÁTICO. LA *TEÓRICA* DE NEWTON¹⁶

Jorge Juan, tras su misión de espía en Inglaterra, establecido en Cádiz en la década de los 50, como Comandante de la Real Compañía de Caballeros Guardias Marinas, se dedicaría, con interés prioritario, a la concepción y redacción de la considerada como su “grande obra”, el *Examen Marítimo*.

En esta etapa de larga residencia en Cádiz ¿qué es, de hecho, Jorge Juan?, ¿a qué se dedica? En síntesis, es: a) físico-matemático; b) Ingeniero naval (experimental); y c) Ingeniero civil.

Y ¿qué hace?: a) Escribir su “grande obra”: el *Examen Marítimo teórico y práctico*; b) Experimentar en la Bahía de Cádiz; y c) dirigir construcciones de ingeniería civil en diferentes lugares: hidráulica, marítima, etc.

En esta Parte se pretende exhibir precisamente el *newtonianismo* que impregna toda la obra *físico-matemática* de Jorge Juan.

Las observaciones astronómicas y físicas por su carácter copernicano (presupuestamente, ya que como he reiterado es descaradamente –desde el inicio-newtoniano) le granjeó la enemiga de la censura inquisitorial y dificultades con ésta que lo marcarían para siempre. En la obra se describen las teorías de Newton y Huygens relativas a la fuerza centrífuga consecuente con el movimiento de rotación diurna de la Tierra. Este movimiento, de modo análogo al de traslación, era incompatible con la noción de Tierra inmóvil del sistema tolemaico-aristotélico-escolástico que “imponía” la Iglesia católica. El inquisidor general Francisco Pérez de Prado exigía que al referir la concepción newtoniana (por conducir a la justificación del sistema copernicano) se añadiera la expresión “sistema dignamente condenado por la Iglesia”. En apoyo de la tesis de Juan actuaron el jesuita Andrés Marcos Burriel –que colaboró en la redacción de la introducción histórica- y Gregorio Mayans y Císcar. Se alcanzó una

¹⁶ Adecuación del texto publicado en GONZÁLEZ DE POSADA, F. *Jorge Juan y su Asamblea Amistosa Literaria. Cádiz (1755-58)*. Madrid. Instituto de España. 2005, previamente escrito en *Jorge Juan. Discurso. Op. cit.*

solución de compromiso, de modo que al exponer los temas de Huygens y Newton acerca de la forma de la Tierra basadas en el movimiento de rotación y en las fuerzas centrífugas consecuentes de éste se añadiría el párrafo “aunque esta hipótesis sea falsa”.¹⁷

Interesa destacar la fecha, 1746 (o 1748) en la que se escribió (o se editó). Así puede afirmarse que Juan fue no sólo un adelantado del newtonianismo en España sino uno de los primeros usadores y defensores definitivos del mismo en el continente europeo. Hasta aquí nos referimos a él en tanto que astrónomo observacional y pensador intuitivo, aún no en tanto que mecánico experimental de primera categoría e ingeniero naval.

En 1748 es ya una persona madura, reconocida y responsable. Pero es joven y presenta una vida de intensa actividad que hace de difícil intelección el que hubiera podido dedicarse a la reflexión intelectual cuando hay matemáticas de por medio. Y además que pudiera hacerlo en un contexto español abierto parcial y exclusivamente al ámbito francés.

Ésta es su primera obra importante, las *Observaciones astronomicas, y physicas hechas de orden de S. Mag. en los Reynos del Perú de las quales se deduce la figura, y magnitud de la Tierra, y se aplica a la Navegación*¹⁸. Es un libro de observaciones astronómicas y de experimentación física: geodesia, astronomía y las entonces incipientes primeras teorías físicas. Lo titularemos en adelante sólo *Observaciones*. En ella puede destacarse, sin embargo, su trasfondo newtoniano, su aprecio por la ‘Teórica’.

El brevísimo “Prólogo” de su primera obra escrita nos pone sobre aviso, es verdad que de manera sumamente discreta y hartamente ambigua y compleja, sobre su temprana adscripción newtoniana, concluyendo con el siguiente párrafo:¹⁹

Advierto ultimamente, que siendo muchas de las cosas, que se tocan en esta *Obra de muy sublime Geometría*, he procurado explicarme del modo mas claro, y perceptible, para que me entiendan aun los no muy versados en sus abstrusas especulaciones. De esto se deberán hacer cargo los grandes Geometras, à quienes pareciesen algunas explicaciones demasiado largas, ò poco necesarias; y por el contrario, si los no muy versados en Geometría no comprehendiessen algunos Calculos, podrán hacernos la justicia de suponer la demonstracion de la Proposicion, como dada, enterados, de que *no serà facil hallar explicación, que les sossiegue, sin adquirir otros principios*. Con el que ningunos tuviesse, no puede hablar una *Obra, en que no se dan estos, sino que se suponen*; pues para darlos todos, fueran sin duda necesarios otros volumenes, y aun acaso no se darían con ellos por satisfechos.²⁰

¹⁷ *Observaciones*, p. XVI. Ver con mayor detalle más adelante.

¹⁸ He utilizado el ejemplar original que existe en la Biblioteca Histórica Complutense de la Universidad Complutense de Madrid.

¹⁹ Las citas, como ya expresé respecto de todo el *Discurso*, se reproducen literalmente, manteniendo la ortografía de la época. Resulta de interés histórico-lingüístico apreciar la rápida evolución desde 1748 a 1771, fecha de la edición del *Examen Marítimo*, que veremos más adelante.

²⁰ El uso de cursivas es mío, como en adelante en todas las citas.

Baste la lectura del párrafo, en el que el uso de negritas por mi parte facilita el sentido. Impresionante, precioso, profundo, como advertencia capital para la intelección de la obra en su totalidad. Está escribiendo para la España y en la España de su tiempo. Los principios a los que se refiere, sin ninguna duda, son los newtonianos que no explicita, “que se suponen”.

En resumen, escribe acerca de las *observaciones* en Ecuador sin ofrecer los principios que sustentan, en su caso, los resultados observados y las medidas realizadas. Esta tarea quedaría inédita hasta la publicación, ¡25 años más tarde!, 1771, del *Examen Marítimo*. Pueden suponerse implícita su temprana adscripción newtoniana e implícitos los principios de la *Filosofía natural* de Newton.

Las referencias explícitas, extensas y reiteradas, a Newton

En la “Introducción” las referencias son algo más explícitas y en alguna ocasión lo son expresamente.

Por mi parte, deseo destacar en primer lugar el trasfondo filosófico de la concepción científica de Jorge Juan que será una constante en toda su obra y que difícilmente puede encontrarse con tanta claridad, seguridad y constancia en otros autores de esa época o incluso de cualquier otra: *la necesidad de la concordancia de una teórica -que ha de existir- con la experiencia*; dirá él, aquí, <<de la especulativa con la práctica que deben conducir a la verdad>>. El lema, consecuencia de la creencia galileana, de que “la Naturaleza está escrita en lenguaje matemático” ha quedado grabado en él.

En esta introducción describe –parece ser que con la ayuda del jesuita Andrés Marcos Burriel, como ya he indicado- la historia del problema y precisa la situación “actual” del mismo con todo rigor.

... [a lo largo de la historia se] buscase con continuadas especulaciones la verdad; pero especialmente de un Siglo à esta parte, [...] las ha acompañado la practica mas solícita, y mas exacta, que cabe en cuydado, y diligencia humana; à fin de averiguar, si se unían entre sî, y se concordaban aquella especulativa con esta practica, para sacar de su combinación, y con el riesgo de estos sudores el fruto de la verdad.²¹

Lo suyo, aparentemente al menos y de modo destacado durante la estancia en Ecuador, había sido la experimentación, las observaciones. Sobre éstas hablará reiteradamente acerca de “la habilidad, la precaución y la repetición de experiencias”. Pues bien, *toda su obra es una clara manifestación de teoriedad, de sumisión a los fundamentos teóricos, de la necesidad de disponer o encontrar una teoría adecuada*; de ninguna manera queda nunca satisfecho sólo con los frutos experimentales, que en sus quehaceres son abundantísimos y riquísimos.

²¹ *Observaciones*, p. I.

Pero junto a la *necesariedad de una fundamentación teórica* siempre manifiesta la actitud del científico moderno: el *sometimiento a la experiencia*.

Pero como yà el día de hoy los Philosophos, y Mathematicos, sacudida la antigua servidumbre, lexos de seguir ciegamente las sentencias de los mayores, las desamparan sin dificultad, siempre que las experiencias bien justificadas persuaden a lo contrario [...] no tardó en dudarse, si la Tierra era, ò no perfectamente esphérica; y bien presto se decidiò, que ciertamente no lo era, aunque se dudò por mucho tiempo de su verdadera figura, divididos los Philosophos en distintas, y contrarias opiniones. Dos experiencias, sobre que se formaban muy diversas reflexiones, fueron el fundamento de la division. Una fuè el hallazgo de la diversa gravedad en los Pendulos; y otra la medida de los grados de todo el Meridiano, que atraviessa la Francia, [...], pues en esto consiste la controversia, que hemos de decidir.²²

Y tras explicar las perspectivas en disputa, en resumen, escribirá el marino físico: “*las experiencias acreditan la Teórica de Newton*”. de manera explícita y sintéticamente en el Índice Alfabético de las Materias del final de la obra, ya que “todas las Observaciones convienen en que la Tierra es una Elipsoide Lata”, que es la perspectiva newtoniana de una Tierra achatada por los polos. La experiencia demuestra la concordancia de la realidad con la *Teórica* de Newton.

5. EL EXÁMEN MARÍTIMO ²³

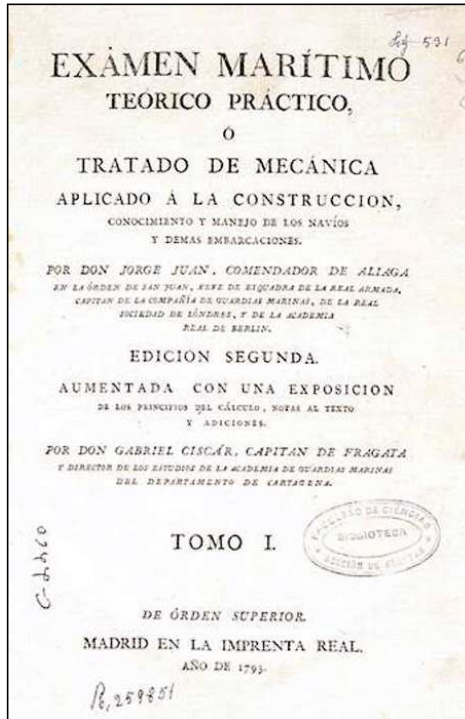
La obra *Observaciones astronómicas y físicas* se editó en 1748, tras las vicisitudes económicas e ideológicas que la paralizó en 1746. Pues bien, desde esta fecha, cuando se inició el proceso para su edición, hasta 1771, fecha de publicación de la primera edición del *Exâmen Marítimo Teórico Práctico*, han transcurrido 25 años. Jorge Juan ha vivido ya, prácticamente, toda su vida, intensa, muy intensa, fructífera. Enfermo sabe que está llegando a su final.

En 1765, según su secretario personal, había escrito el *Estado de la Astronomía en Europa*, especie de testamento a modo de *alegato pro-newtoniano*, que en las esferas intelectuales predominantes en el poder se concibe como copernicano, aunque no cite nunca el *De revolutionibus* ni se interese nunca por Copérnico. Su punto de atención es otro: Newton.

La nueva obra, *Exâmen Marítimo*, pasaría a la historia de los grandes libros de física, de mecánica, de ingeniería naval y de navegación.

²² *Ibidem.*, p. IX.

²³ He utilizado la primera edición en la reproducción facsímil editada por el Instituto de España, Madrid, 1968; y de la “Edición Segunda. Aumentada con una exposición de los principios del cálculo, notas al texto y adiciones” de Gabriel Císcar, de la que sólo se editó el Tomo I, Madrid, Imprenta Real, 1793, el ejemplar que se encuentra en la Biblioteca Histórica Complutense.



La primera edición es de 1771. Alcanzó notable celebridad y fue requerida en los más importantes foros; en concreto en las Academias de París, Londres y Berlín.

Fue traducida a diferentes lenguas. Al francés, por M. Leveque, Hidrógrafo y Profesor Real de Matemáticas en Nantes, en 1783, enriquecido –según Císcar– con un breve comentario; obra que se imprimió bajo el privilegio de la Real Academia de Ciencias de París; al inglés, en Londres, en 1784; nueva edición francesa, en París, en 1792; y al italiano, en Milán, en 1819. Y se constituyó en un tratado clásico de Mecánica.

Ante el éxito internacional del texto, Gabriel Císcar y Císcar, a la sazón Director de los estudios de la Academia de Guardias Marinas del Departamento de Cartagena, fue llamado a la Corte para ocuparse de la reimpresión del *Exâmen Marítimo*. Císcar, que había sido profesor en la citada Academia y tenía profundo conocimiento de dicha obra y harta experiencia docente, amplió notablemente el Tomo I, que se publica como “Edición Segunda. Aumentada con una exposición de los principios del Cálculo, notas al texto y adiciones” por Don Gabriel Císcar, “de orden superior, Madrid en la Imprenta Real, año de 1793”, y que contiene sólo el Tomo I, la mecánica de los sólidos.

La primera edición castellana de 1771 ha sido reeditada en facsímil en Madrid, en 1968, por el Instituto de España.

El libro tiene por título completo *Exâmen Marítimo teórico práctico, ó Tratado de Mecánica aplicado a la construccion, conocimiento y manejo de los navíos y demas embarcaciones*. Se conoció siempre como *Exâmen Marítimo*. El título completo, que suena a actualidad, resulta harto significativo y auténticamente real. Es un Tratado de Mecánica que puede leerse hoy perfectamente, cosa que no sucede, por ejemplo, con los *Principia* de Newton, que rápidamente quedaron obsoletos por su confuso lenguaje geométrico. El libro de Juan parece, pues, de actualidad. ¡Qué contraste con los *Principios matemáticos de la Filosofía Natural*! En síntesis, Tratado de Mecánica, lo que ciertamente es, y magnífico, y completo.

El libro integra sus vastos conocimientos teóricos y los resultados de sus investigaciones en la bahía de Cádiz. Apareció editada en dos gruesos volúmenes.

Suele escribirse, y repetirse (ejemplo reciente, Guillén, 1997, p. 33) que fue “la obra más importante de su vida, el *Examen Marítimo*, dedicado a la mecánica, construcción y maniobras de los buques, y en el que resumía todas las enseñanzas obtenidas a lo largo de su vida”, lo que es cierto. Pero cierto es, también, y conviene dejarlo claro, que es una obra de matemáticas y física (el primer tomo) no propiamente de construcción naval ni de navegación, independientemente de lo que pueda parecer el título a algunos. Está muy bien fundamentado teóricamente.

Interesa también destacar la fecha, 1771, pero expresando que ésa es la fecha de su edición. Fue una magna obra, pensada no se sabe dónde, probablemente en muchos lugares durante mucho tiempo, pero de manera harto plausible puede decirse que prácticamente en su totalidad, sin ninguna duda, concebida y elaborada en bruto en Cádiz, en y con su biblioteca gaditana, durante los años de reposo intelectual que vivió en esta ciudad, y antes de desplazarse definitivamente a Madrid, donde acabaría de pulirla.

Por lo que se refiere a su condición académica, llama la atención que se presente exclusivamente como “De la Real Sociedad de Londres y de la Academia Real de Berlín”, obviando el título de Correspondiente de la Real Academia de Ciencias de París, cuestión que se presenta a mis ojos como algo extraña y que no logro interpretar.

Es un libro moderno, casi actual. Se habían desarrollado aceptablemente el cálculo diferencial y el cálculo integral. Los Bernouilli y Euler, junto a otros, a los que había citado con profusión en las *Observaciones*, han desarrollado las Matemáticas que Juan conoce sólidamente y de las que no dispuso Newton.

La “Introducción” de Gabriel Císcar²⁴

En la “Edición Segunda. Aumentada con una exposición de los principios del Cálculo, notas al texto y adiciones”, 1793, que hemos citado, Císcar escribe una

²⁴ Así aparece su nombre en el libro citado. De ordinario se le conoce como Gabriel Císcar y Císcar (Oliva, Valencia, 1760; Gibraltar, 1829). Císcar es una figura destacada de la Ilustración española que, después de unos relevantes servicios y alta producción científica, tuvo que exiliarse a Gibraltar, en cierto paralelismo con Agustín de Bethencourt.

breve Introducción. De ella pueden destacarse algunas de sus consideraciones, destacando en negritas su juicio (ver próximo párrafo nº 2) acerca de la obra, mucho más próximo al nuestro que al usualmente considerado (ver inmediato párrafo nº 1).

1. El objeto principal de la obra de Jorge Juan, según él, fue <<tratar de la construcción, conocimiento y manejo de las embarcaciones>>.

2. Sin embargo: *los principios de la mecánica de los sólidos, que contiene el primer Libro, la teoría de la percusion, la de la fricción, y la de las máquinas tienen un mérito superior, y son casi enteramente suyas*".

3. Más aún: "aun las cosas sabidas se hallan tratadas con aquella sublimidad y elegancia geométrica, que caracterizan las producciones matemáticas de un genio original".

4. Destaca, por otra parte, que el libro, todo el Tratado, mereció una traducción francesa por M. Leveque, Hidrógrafo y Profesor Real de Matemáticas en Nantes, en 1783, enriquecido con un breve comentario.

5. En su condición de "profesor de Matemáticas sublimes", asume la responsabilidad de explicar los dos primeros libros del *Examen Marítimo* en la Academia de Guardias Marinas de Cartagena, lo que le permitió, según dejó escrito, repasar los cálculos y consideraciones metafísicas. <Nuevos trabajos sobre la materia me convencieron de la necesidad que teníamos de conocer mejor esta sublime Obra>.

6. Amplía, corrige y comenta:

...me he propuesto hacer del *Exâmen Marítimo* un Tratado mucho mas extenso, cuyo estudio pueden emprender todos los que quieran dedicarse á la mecánica, con el objeto de aplicarla á qualquiera de los ramos á que se extiende esta ciencia casi universal".

El reconocimiento de los principios y la ley de la atracción general

En el "Capítulo III. Del centro de gravedad de un sistema de cuerpos y de su movimiento", sin embargo, Juan violenta un tanto el proceso del texto para dar cabida a Newton. Introduce una nueva profesión de fe newtoniana. Así, comienza la primera definición de *sistema de cuerpos* –colección de cuerpos– nombre que se le ha dado, según él:

...por la semejanza que tiene con el Sistema del Mundo, compuesto de varios cuerpos, como el Sol, y Planetas, cuyos movimientos ha explicado con tanta propiedad el Caballero Newton con solos los principios de Mecánica, y la ley de la atracción general, que cada día verifica más y más la experiencia.²⁵

²⁵ *Ibidem*, pp. 244-245.

Con esta expresión tan rotunda, en este capítulo avanzado y diríamos que ya casi perdido, recuerda a Newton de manera tan exquisita cuando lo ha obviado expresamente en el capítulo primero, casi todo él propiamente newtoniano.

Contribución expresa de Jorge Juan

Hasta aquí hemos destacado la fe y la fundamentación newtonianas de Jorge Juan. Pero hay más. En el capítulo VI, uno de los fundamentales de su creación personal, dedicado a la percusión, *introduce dos “nuevos” axiomas*, que serían dignos de iniciar con ellos, y sus aplicaciones y consecuencias, otro discurso. Ahora basta con constatar la novedad y la fijación numérica, continuación de los tres de Newton:

“Axioma 4. Los cuerpos son impenetrables, o no pueden penetrarse ocupando al mismo tiempo el propio lugar”.²⁶

“Axioma 5. La naturaleza obra por instantes, y por movimientos sucesivos. Esto es lo que algunos han llamado ley de la continuidad. Un cuerpo que corre por una dirección no puede pasar de un punto a otro, sin pasar antes por todos los intermedios: no puede pasar de una velocidad a otra mayor o menor, sin haber tenido antes y sucesivamente las intermedias: y así de otros infinitos casos”.

Y, finalmente, reiterar una vez más que Copérnico no tiene existencia en la obra de Juan, no es objeto de consideración por éste, el *De revolutionibus* había sido sólo especulativa, el interés que despierta se limita en todo caso a filósofos profesionales tradicionales –y para ser criticado- y al ámbito de la sociología de la religión por sus consecuencias; es decir, a los poderes y a la sociedad vulgar, pero no interesa en absoluto a los teóricos postnewtonianos, mucho menos a uno de la categoría de Jorge Juan.

La consideración posterior de esta obra

La valoración histórica del *Examen Marítimo* se manifiesta, en primer lugar, por el mérito de las traducciones al francés, inglés e italiano y por el encargo de una segunda edición española, y, en segundo lugar, por su conversión en un *libro clásico* de consulta obligada. Con él adquirió Jorge Juan la consideración de *El Sabio español*.

Recordemos dos citas: una, extranjera, del siglo XVIII; otra, española, del siglo XIX.

Leveque, en la dedicatoria de la edición francesa, escribe: “[...] *ninguna de las teorías presentadas hasta aquí ha proporcionado resultados tan conformes con la experiencia [como la de Jorge Juan]*”.²⁷

²⁶ *Ibidem*, p. 385.

²⁷ Citado con admiración por Gabriel Císcar en la 2ª edición.

José Echegaray, en su *Discurso* de ingreso en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, en 1866, sobre la historia de las matemáticas en España, historia lamentable para él, escribe:

Otro siglo más de gloria para Europa, otro más de silencio y abatimiento para España [...] Yo sé que la célebre obra [de Jorge Juan] titulada Examen Marítimo, obra verdaderamente clásica, ha sido única en Europa por muchos años y ha recibido el honor de ser traducida y comentada en varias lenguas.²⁸

6. LOS *SUCESORES* DE JUAN: ULLOA, TOFIÑO, BAÍLS Y CÍSCAR²⁹

En el ámbito físico-matemático la figura indiscutible del siglo XVIII español fue Jorge Juan, intrínsecamente, socialmente e históricamente. Ocupó lugar de honor en el segundo tercio del siglo y su obra y su sombra ocuparon el resto. Completaremos el análisis del siglo en el ámbito de las *ciencias físico-matemáticas*, con su compañero de la primera etapa, Antonio de Ulloa; con un colaborador, Vicente Tofiño; con un apadrinado, Benito Baíls; y con un estudioso editor de su obra, Gabriel Císcar. La novedad que aquí se exhibe se refiere exclusivamente a la relación de este cuarteto con Jorge Juan y, consecuentemente, a la estructuración de esta tercera parte, con la que se destaca especialmente la importancia social e histórica del marino español en el marco de la física y la matemática.

En resumen, el trabajo se refiere a Jorge Juan, esta tercera parte es un apéndice.

En recuerdo de Antonio de Ulloa, el compañero de Juan³⁰

Podría sorprender que no citase a Antonio de Ulloa y de la Torre-Giral (Sevilla, 1716; Isla de León, Cádiz, 1795), su compañero de trabajos en la larga estancia en el Ecuador y coautor con Juan de las dos primeras importantes obras de ambos, las *Observaciones astronómicas y físicas* y la *Relación histórica del viaje*. En principio podría afirmarse que el trabajo científico experimental, de construcción de aparatos y de observación en el Virreinato del Perú, preparó en las ciencias físicas a ambos de manera análoga. Se sabe, no obstante, que las *Observaciones* las redactó Juan y que la *Relación* la escribió Ulloa; aquella propiamente física y astronómica; ésta prioritariamente naturalista e histórica.

²⁸ ECHEGARAY, J. *Discurso* de recepción en la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Madrid. 1866.

²⁹ Los datos básicos sobre cada uno de estos científicos españoles pueden verse en LÓPEZ PIÑERO *et al* *Diccionario*. *Op. cit.* La orientación de esta Tercera Parte, desde la perspectiva de la primordial relevancia de la figura de Jorge Juan, consiste en destacar sus vínculos con Jorge Juan, bien personalmente, bien por referencia a su obra.

³⁰ Dispongo de un buen trabajo biográfico de Manuel MARTÍNEZ PRIETO (2006, inédito) presentado en el "Aula de Ciencias. I Curso" que tuve el honor de dirigir en Gandía, Hotel Tres Anclas, pendiente de publicación por la Real Academia de Cultura Valenciana.

Vengo insinuando como tesis -¿original?- que Ulloa y Juan rompieron de hecho relaciones en torno al año 1751 –o cuando menos que se distanciaron progresivamente-. Como argumentos, que se desarrollarán con detalles en otra ocasión, pueden citarse los siguientes: 1) la no integración de Ulloa en el equipo redactor de las Ordenanzas para la creación de la Academia de Ciencias de Madrid que formaron Juan y Godin; 2) la no pertenencia de Ulloa a la Asamblea Amistosa Literaria creada por Jorge Juan en Cádiz en 1755; 3) el hecho de que el interesante trabajo de Ulloa sobre el (terremoto de Lisboa con la manifestación de) maremoto en Cádiz de 1755 lo publicara en Inglaterra y no lo presentara en la citada Asamblea Amistosa Literaria en la ciudad de Cádiz; 4) la no existencia de ninguna correspondencia entre ellos posterior a 1751, aunque se presupone un prudente y respetuoso silencio entre ambos; y 5) La escasa referencia –prácticamente nula y con un tratamiento enormemente distante- que hace Ulloa de Juan en sus *Conversaciones de Ulloa con sus tres hijos en servicio de la Marina* (1795), especie de testamento en el que se manifiesta Ulloa como auténtico marino has el final de sus días (lo que había dejado de ser Juan desde el regreso de América).

Ulloa fue un científico de talla europea en el siglo XVIII (descubridor del platino, en tanto que nuevo elemento químico; promotor del Colegio de Cirugía de Cádiz –primero de España-, de Jardines Botánicos, y del Gabinete de Historia Natural de Madrid; observador en alta mar, durante un viaje, de un eclipse de Sol; proyectista del Canal de Castilla; etc.). Pero no tuvo una segunda etapa prioritariamente *científica* sino que se reconvirtió en auténtico miembro de la Armada. Al final de sus días, en las *Conversaciones*, se presenta a sus hijos como “experto marino” conocedor práctico de vientos, tormentas, accidentes geográficos, etc. y muy distante de la conveniencia del conocimiento científico de la atmósfera, del océano, del navío; no les recomienda ni teorías ni libros, sí navegar y gobernar naves y hombres.

Juan y Ulloa, dos talentos, dos actitudes. Ulloa sobrevivió veinte años a Juan, pero no recomendó a sus hijos ni el estudio del *Compendio de navegación* ni el *Examen Marítimo*. Mientras Juan se dedicó a la ciencia y a la alta educación (Academia de Guardiamarinas de Cádiz, Real Seminario de Nobles de Madrid, Real Academia de Nobles Artes de San Fernando), Ulloa desempeñaba puestos ordinarios en la Armada y en la política *ad hoc*, tales como Gobernador de Huancavelica y de la Luisiana y jefe de la última Carrera de la Flota de Indias, y permanecería unido a la bahía de Cádiz estableciéndose en la Isla de León (posteriormente San Fernando), donde se recluyó la Armada abandonando progresivamente la plaza de Cádiz.

Para evitar cuestiones profesionales y patrióticas, o quizá mejor para fijarlas, no está de más afirmar que tanto Juan como Ulloa fueron olvidados por la Armada y por España: valga como ejemplo que aún hoy no se sabe dónde reposan sus restos. (Puede decirse que si lingüísticamente en la expresión Armada

española, Armada es sustantivo y española adjetivo, desde la perspectiva que ahora comento, y filosóficamente, puede afirmarse que España es sustantividad y armada adjetividad: la Armada española, es decir, la España armadada, ha tenido por sus grandes hombres el mismo aprecio que la España universitaria o la España intelectual por los suyos: reducirlos al olvido. (Un siglo más tarde ocurriría en la Armada otro tanto con Isaac Peral).

¿Cuándo rompieron? No me resulta difícil, en función de lo expuesto afirmar que debió ocurrir en torno a 1751, año en que Ulloa deja sus responsabilidades en la Academia de Guardias Marinas de Cádiz y las asume Juan, que modificará radicalmente el plan de estudios (para hacerlo más científico) y buscará nuevos profesores que se adecuen a sus deseos, tarea nada fácil. Esta tesis “revolucionaria” se enfrenta a la tradición de los panegiristas de ambos, constructores de “leyendas piadosas” y en consecuencia deformadores de la historia real. Juan se dedica a la ciencia físico-matemática, a la ingeniería y a tareas de gobierno en la educación y en la política diplomática, abandonando el mar. Ulloa presta excelentes servicios a la patria como marino experto y con extraordinarias contribuciones en tanto que científico naturalista.

El colaborador de Juan: Vicente Tofiño

Jorge Juan estuvo realizando una encomiable tarea de renovación de la enseñanza en la Academia de Guardiamarinas de Cádiz. Entre otros, integró en ella como profesor a *Vicente Tofiño y Vandewale (de San Miguel?)* (Cádiz, 1732; Isla de León, Cádiz, 1795).

Tofiño, hijo de militar, había iniciado la carrera de las armas en el Ejército. Estando en la Academia de Artillería de Segovia fue elegido, en 1755, por Juan como profesor de Matemáticas para la Academia. Participó desde ese año en las reuniones de la Asamblea Amistosa Literaria que tenían lugar en la casa de Juan. Ingresó en la Armada en 1757.

Dedicó sus esfuerzos prioritarios al Observatorio Astronómico que había creado Jorge Juan en Cádiz. Es referida con frecuencia la observación que hizo del tránsito de Venus por delante del Sol (visto desde la Tierra) del año 1769³¹. Escribió, con la colaboración de José Varela y Ulloa, *Observaciones astronómicas hechas en Cádiz, en el Observatorio Real de Cavalleros guardias marinas* (2 vol, 1776-77), realizadas en Cádiz de 1773 a 1775, tras el fallecimiento de Juan. Fue Director del Observatorio Astronómico de Cádiz durante muchos años y organizó su traslado formal a la Isla de León (actual San Fernando).

Director de la Academia en el período 1768-1789, ha pasado a la historia como astrónomo, matemático e hidrógrafo. Alcanzó el grado de brigadier de la Armada. Fue miembro de la Real Academia de la Historia y elegido socio

³¹ LÓPEZ PIÑERO *et al.* (1983) citan la referencia de J.J le François de LALANDE en su *Traité d'astronomie*, 1771, vol. I, p. 46.

correspondiente de J.-Ch. Borda de la Academia de Ciencias de París, de la Academia de Ciencias de Lisboa e individuo de las Sociedades de Amigos del País de Mallorca y de la Vascongada.

Su gran obra escrita, que se le había sido encargada en 1783, fue la elaboración de un *Atlas marítimo de España*, publicando: *Derrotero de las Costas de España en el Mediterráneo y su correspondiente en África* (1787) y *Derrotero de las costas de España en el Océano Atlántico y de las islas Azores o Terceras* (1789). Ambos Derroteros fueron reeditados en diversas ocasiones a lo largo de más de un siglo, y distintas versiones en diversas lenguas.

También pueden destacarse: *Colección de cartas esféricas de las costas en España y África* (1768) y *Compendio de la Geometría elemental y Trigonometría rectilínea para uso de los Caballeros Guardias-Marinas* (1771, con reediciones varias: 1788, 1794 y 1799).

El profesor apadrinado por Juan: Benito Baíls

Benito Baíls (Barcelona, 1743; Madrid, 1797) había estudiado en las Universidades de Toulouse y París. Fue un *ilustrado*, conocedor de las consideradas humanidades (filosofía, teología, derecho, gramática, historia) y de las ciencias y poseía un amplísimo dominio de idiomas. Formalmente matemático e historiador.

Fue *introducido por Jorge Juan en la Academia de San Fernando* como “director de matemáticas” para la enseñanza de esta materia. Entre sus primeros libros pueden destacarse: *Lecciones de clave y principios de armonía* (1775, trad. de A. Bemetz-Rieder) y *Principios de matemática* (1776, tres tomos).

Su obra *Elementos de matemáticas* (1779, diez tomos) está considerada como la publicación de carácter enciclopédico más importante escrita en español en el siglo XVIII. Es de carácter e intención docente y en ella se resumen, se refieren y se copian, con crítica bibliográfica, obras ya clásicas de matemáticas, física, astronomía y arquitectura civil e hidráulica. Newton, Leibniz, Euler y Lagrange pasean por sus páginas. Por lo que respecta al “Sistema del Mundo”, en consonancia con las preocupaciones de Juan y confirmando su alegato, manifiesta prudentemente que el de Copérnico “no se le conoce en nuestros días a contrario ninguno, ni en Alemania, ni en Francia, ni en Inglaterra” ... pero en la España de finales del siglo XVIII, aunque se expongan argumentos, hay que refutarlo.

Otras obras posteriores fueron; *Instituciones de geometría práctica* (1795) y *Diccionario de Arquitectura civil* (1802, póstuma).

Fue académico de la Lengua, de la Historia y de la de Ciencias y Artes de Barcelona.

El estudioso y editor de la obra de Juan: Gabriel Císcar

Por lo que respecta a las ciencias físico-matemáticas, el siglo XVIII y/o la Ilustración española, acaba con una figura singular, Gabriel Císcar y Císcar³² (Oliva, Valencia, 1760; Gibraltar, 1829)³³, al que vamos a referirnos a continuación³⁴. Su tío, Gregorio Mayans y Císcar, había apoyado la tesis de Juan para la edición de las *Observaciones astronómicas y físicas*.

En 1777 ingresó en la Academia de Guardiamarinas de Cartagena (asociada a la de Cádiz, de modo análogo a la de Ferrol) en la que ejerció posteriormente como profesor de Navegación y Matemáticas, y de la que fue nombrado, en 1788, siendo teniente de navío, director.

Cinco aspectos de su vida y obra deseo señalar.

En primer lugar, conviene destacar que fue llamado a la Corte para ocupar-se de la reimpresión del *Examen Marítimo* de Jorge Juan³⁵. Completó extensamente esta obra añadiendo, como se expresa en la propia portada del nuevo libro, “segunda edición, aumentada con una exposición de los principios del cálculo, notas al texto y adiciones” con nuevas proposiciones, crítica de otras y demostración de algunos errores. Hemos considerado la “grande obra” –el *Examen Marítimo* de Juan- como la pieza capital de la físico-matemática española del siglo XVIII, y con respecto a ella, y por razón de ella, se introduce aquí a Císcar. Tres notas de interés relevante caracterizan el tema: 1) la consideración de la obra de Juan como hito -acontecimiento histórico- de la ciencia española, con amplio reconocimiento internacional y, también, español; 2) la selección de Císcar para tan importante trabajo; y 3) la realización por éste de una obra singular complementaria.

En segundo lugar, referir sus obras docentes: *Tratado de aritmética* (1795, reimpresso en 1803 y 1840), *Tratado de Trigonometría esférica* (1796).

En tercer lugar, por mi parte, y antes de concluir este capítulo de las ciencias físico-matemáticas en la España del siglo XVIII, debo decir, con tanta modestia como firmeza, que, en mi condición explícita de heredero intelectual de Ricardo San Juan y Julio Palacios en el ámbito de la *Teoría de las magnitudes*

³² A Gabriel Císcar se le otorga fama por su condición política de los últimos años de su vida consecuencia de la guerra de la independencia y de los diferentes cargos que ocupó: Jefe de escuadra, gobernador militar y político de Cartagena, secretario de Estado, designado por las cortes de Cádiz miembro de la Regencia en dos períodos (1810-12 y 1813-14), encarcelamiento y confinamiento; En 1820 de nuevo secretario de Estado y en 1823 integrante de la regencia provisional. Condenado a muerte, pena de la que se salvó por ayuda del Duque de Wellington, se refugió en Gibraltar hasta su muerte.

³³ LÓPEZ PIÑERO *et al.* (1983) lo clasifican como *náutica, matemáticas, física*.

³⁴ La figura de mayor relieve, aunque no propiamente en ciencias físico-matemáticas, sino en la de Ingeniería, será Agustín de Betancourt, al que se dedica una especial atención en el capítulo que cierra este libro.

³⁵ Se ha tratado este asunto en las “Consideraciones introductorias” y en la “Introducción de Gabriel Císcar” del capítulo B) Newton en el *Examen Marítimo* de la segunda parte.

físicas y del *Análisis Dimensional*, profeso una especial consideración hacia el librito *Memoria elemental sobre los nuevos pesos y medidas decimales fundados en la Naturaleza*, que publicó Císcar precisamente en el año 1800, como representante de España, en 1798, en la reunión convocada por el Instituto de Francia para la comprobación de los patrones definitivos del sistema métrico decimal y la fijación de los principios de éste. En esta obra se exponen las ventajas del nuevo sistema métrico, se propone una nomenclatura castellana y se expresan las relaciones de los nuevos pesos y medidas con algunos de los usados entonces en España. La completó con unos *Apuntes sobre medidas, pesos y monedas que pueden considerarse como una segunda parte de la memoria elemental ...* (1821) de la de 1800.

En cuarto lugar, por lo que respecta a temas que pudieran presentarse como más propiamente físicos en la época, pueden recordarse: a) *Explicación de varios métodos...* (1803) concebidos para corregir distancias lunares y determinar las longitudes en el mar; y b) los cálculos realizados sobre la figura de la Tierra a partir de las determinaciones de la longitud del péndulo y determinaciones del valor de la aceleración de la gravedad.

Y en quinto lugar, citar su obra final, en el exilio gibraltareño, *Poema físico-astronómico en siete cantos*, en el que rinde homenaje, entre otros, a los científicos e ingenieros españoles citados expresamente en los títulos de este ciclo Jorge Juan y Agustín de Betancourt.

7. CONSIDERACIONES POLÍTICO-RELIGIOSAS: EL PROBLEMA DE ESPAÑA

En el *Estado de la Astronomía en Europa*, establece su veredicto, en dos párrafos::

...Este cúmulo de acertadas predicciones, y demostraciones Geométricas (sin otras que se omiten) clama y excluye todo argumento aparente, toda pasión escolástica, y toda infundada autoridad. Ya no basta decir que puede girar este ó el otro cuerpo: es preciso que corresponda a las leyes generales que la Theórica demostrada, y la Observacion dictan.³⁶

Querer establecer fixa á la Tierra, es lo mismo que querer derribar todos los principios de la Mechânica, de la Phisica, y aun toda la Astronomía, sin dexar auxilio ni fuerzas en lo humano para poder satisfacer.³⁷

El problema es de España, singularmente de España como Reino (aunque sea también problema de la Iglesia católica); ya que este “mal” se ha superado en Europa:

³⁶ JORGE JUAN. *Estado de la Astronomía en Europa*, p. 13.

³⁷ *Ibidem.*, p. 14.

Estas reflexiones se han hecho ya en casi toda la Europa: no hay Reyno que no sea Newtoniano, y por consiguiente Copernicano, mas no por eso preténden ofender (ni aun por la imaginacion) á las Sagradas Letras, que tanto debemos venerar.³⁸

Puede observarse, aunque lo haya escrito sólo en esta ocasión, que el ser (en sentido esencial) *newtoniano* implica el ser (en sentido social) *copernicano*, pero toda la Europa intelectual es ya newtoniana, mucho más que copernicana – en *extensión*, todo el Universo; en *intensión*, todo es matemático-. Jorge Juan, no sólo convergente con Europa sino un pionero de relieve en la construcción de esta Europa, se presenta como optimista y diplomático, busca la paz y el acuerdo:

El sentido en que éstas [las Sagradas Escrituras] hablaron es clarísimo, y que no quisieron enseñar la Astronomía, sino darse solamente a entender en el Pueblo. Hasta los mismos que sentenciaron a Galileo [parece obvio, con un siglo largo de distancia, que se refiere colectiva y prioritariamente a los jesuitas] se reconocen hoy arrepentidos de haberlo hecho, y nada lo acredita tanto como la conducta de la misma Italia: por toda ella se enseña públicamente el sistema Copernicano y Newtoniano: no hay Religioso que no lo dé a la prensa: los PP. Lesieur, Jacquier y Boscovich, y aún la Academia de Bolonia no aspiran a otra cosa.³⁹

2 ¿Puede haber prueba más evidente de que ya no cabe en ellos ni aun la sola sospecha de herejía, que fue la condenada, y que, lejos de ella, abrazan el Sistema como único?.⁴⁰

¿Cómo estaba nuestra España, a la que se dirige Jorge Juan en su *testamento*?:

¿Será decente con esto obligar a nuestra Nación a que, después de explicar los Sistemas y la Filosofía Newtoniana, haya de añadir a cada fenómeno que dependa del movimiento de la Tierra: pero no se crea éste, que es contra las Sagradas Letras? ¿No será ultrajar éstas el pretender que se opongan a las más delicadas demostraciones de Geometría y de Mecánica? ¿Podrá ningún Católico sabio entender esto sin escandalizarse? Y cuando no hubiera en el Reyno luces suficientes para comprehenderlo ¿dejaría de hacerse risible una Nación que tanta ceguera mantiene?

No es posible que su Soberano, lleno de amor y de sabiduría, tal consienta: es preciso que vuelva por el honor de sus Vasallos; y absolutamente necesario, que se puedan explicar los Sistemas, sin la precisión de haberlos de refutar: pues no habiendo duda en lo expuesto, tampoco debe haberla en permitir que la Ciencia se escriba sin semejantes sujeciones.⁴¹

³⁸ *Ibidem.*, p. 14.

³⁹ *Ibidem.*, p. 14.

⁴⁰ *Ibidem.*, p. 14.

⁴¹ *Ibidem.*, p. 15.

Basta con dejar constancia de las convicciones, deseos y esperanzas de Jorge Juan para una España que se resistía a la ciencia y a la razón, que se resistía a la europeización, al conocimiento.