

TRES INSIGNES ILUSTRADOS: BETHENCOURT, EULER Y JORGE JUAN

Conferencia de apertura del Curso 2007-2008 de la Academia de Ciencias de Tenerife
21 de enero de 2008

Manuel López Pellicer

Real Academia de Ciencias de Madrid

INTRODUCCIÓN

En primer lugar deseo agradecer al Presidente de esta Academia, Profesor Dr. D. Nácere Háyek Calil la invitación a pronunciar esta conferencia, así como sus sugerencias que me han sido de gran ayuda. Conocí personalmente a Don Nácere en 1974 en una oposición a una plaza de Profesor Agregado de Análisis Funcional, en la que Don Nácere era uno de los cinco miembros del Tribunal. Todos los opositores pudimos apreciar sus excepcionales cualidades humanas a través de su trato exquisito con todos los opositores. Antes de esa oposición tenía la idea de que Don Nácere era un sabio; desde entonces con Don Nácere he asociado siempre que además de sabio tiene unas excepcionales cualidades humanas enriquecidas por una inagotable capacidad de trabajo.

El siglo XVIII ha sido excepcional para la Ciencia. Una de las figuras cumbres de este siglo de la Ilustración es Euler (1707 – 1783), considerado el mejor matemático de ese siglo y, sin duda, el matemático más fecundo que ha existido. En España también tuvimos excelentes científicos e ingenieros en ese siglo, tal vez no completamente comprendidos ni apoyados por los gobernantes. He elegido dos: El alicantino Jorge Juan (1713 – 1773) y el tinerfeño Agustín de Bethencourt y Molina (1758 – 1824), que desarrolló su obra entre el último cuarto del siglo XVIII y el primero del siglo XIX.

Dividiré la conferencia en cuatro partes. La primera la dedicaré a esbozar una visión general de la Matemática, que de forma natural nos llevará al movimiento de la Ilustración. Las tres restantes estarán dedicadas a Euler, Juan y Bethencourt, siguiendo el orden cronológico.

1.- UNA VISIÓN RÁPIDA SOBRE LA MATEMÁTICA

Para Platón (427 – 347 a.C., aproximadamente), Galileo Galilei (1564 – 1642) y Leonardo da Vinci (1452 – 1519) las matemáticas eran uno de los mayores logros de la humanidad, en su intento constante de comprender nuestro universo. Por eso Platón prohibía la entrada en la Academia a los desconocedores de la geometría. Galileo afirmaba que “*el Universo ... está escrito en lenguaje matemático ...*” y Leonardo, al observar que el conocimiento matemático está en otras ciencias y que contribuye al

desarrollo de nuevas tecnologías afirmó que “*una ciencia no puede considerarse tal hasta que no está impregnada de matemáticas*”.

Pero el valor de las matemáticas no es sólo utilitario, son a la vez una profunda manifestación cultural del espíritu humano al que plantean desafíos intelectuales que motivan a la superación. Mucho trabajo matemático se ha hecho “*por el honor del espíritu humano*”, en palabras del matemático alemán Gustav Jacobi (1804 – 1851).

Cinco siglos antes de Cristo, los pitagóricos, que gustaban llamarse *amigos de la sabiduría*, realizaron el *milagro griego*. Consiste en el paso decisivo del “*hombre de la experiencia*” al “*hombre de la razón*”, que mediante el uso sistemático de los procedimientos generales del pensamiento, análisis y síntesis, abstracción y generalización organizaron deductivamente los legados matemáticos egipcio, oriental y las propias aportaciones helénicas. Dos siglos después, Euclides (325 – 265 a. C., aproximadamente) recopiló, admirablemente, todo el saber matemático en los trece tomos de su obra “*Los Elementos*”, de la que se han hecho casi tantas ediciones como de la “*La Biblia*”.

Además, Pitágoras de Samos (569 – 475 a.C., aproximadamente) y sus discípulos se dieron cuenta que había afirmaciones que tenían que admitir sin demostración. Las llamaron *postulados*. Zenón de Elea (490 – 425 a.C., aproximadamente), mediante sus famosas paradojas, probó que algunos postulados pitagóricos eran incompatibles entre sí. De esta forma Zenón defendió frente a los pitagóricos las ideas de su maestro, el gran filósofo Parménides de Elea (540 – 470 a.C.). Zenón visitó Atenas el año 445 antes de Cristo para convencer a Pericles (495 – 429 a.C.) de la necesidad de firmar un pacto de alianza entre sus ciudades. Entonces conversó con Sócrates (470 – 399 a.C.), que tenía 25 años. Es razonable suponer que Sócrates primero y más tarde Platón (427 – 347 a.C., aproximadamente) quedaron impresionados por la arquitectura del pensamiento matemático, pues la transmisión de las paradojas de Zenón la debemos a Aristóteles (384 – 322).

Es pues razonable suponer que la belleza y armonía del pensamiento matemático las tuvo muy presentes Aristóteles en la formación de su Lógica, que se intentó mejorar durante la Edad Media, soñando con obtener un sistema formal, llamado *Combinatoria Universal*, con el que se pudiera demostrar la verdad o falsedad de cualquier proposición. Con este objetivo, Leibniz (1646 – 1716) escribió su obra “*Meditaciones sobre el conocimiento, verdades e ideas*” de 1680, intentando reducir el razonamiento a un *álgebra del pensamiento*.

A finales del siglo XIX y comienzos del XX se desarrollaron axiomáticas sobre la teoría de conjuntos, que intentaban encerrar la matemática dentro de un sistema formal de conocimiento. La célebre paradoja de Bertrand Russell (1872 -1970) sirvió, como antaño las de Zenón, para depurar las construcciones axiomáticas. Pero unos treinta años más tarde, el teorema de Gödel (1906 – 1978) de la imposibilidad de construir un sistema axiomático consistente y completo que contenga a la Aritmética elemental, puso límites a la mente humana al demostrar la existencia de proposiciones aritméticas indemostrables. Los ordenadores también participan de las limitaciones de nuestra mente, pues Turing (1912 – 1954) probó con el problema de la parada que nunca dispondremos de un ordenador capaz de contestar a todas las posibles cuestiones matemáticas.

Por tanto, desde hace unos setenta años sabemos que la Matemática es limitada, pero nadie duda que nos seguirá ayudando a entender el Universo, guiados de los genios matemáticos que se inspiran en su gran belleza y utilidad. Me voy a detener ahora en cuatro de ellos. Primero Arquímedes de Siracusa (287 – 212 a. C.) y Newton (1643 – 1727), en quienes el estudio de *Los Elementos* de Euclides decidió su vocación matemática. Luego veremos parte de la obra de Leibniz y de Euler.

El padre de Arquímedes fue el astrónomo heliocentrista Fidias, que envió a su hijo a Alejandría a estudiar con Euclides. Cuando Arquímedes completó su viaje Euclides acababa de fallecer y tuvo estudiar con sus discípulos, a quienes pronto superó. Siempre que Arquímedes les comunicaba un nuevo descubrimiento le respondían que ya lo habían descubierto, lo que debía ser en general falso, pues Arquímedes comprobó que si les comunicaba teoremas falsos también se los atribuían. Por tanto, Arquímedes decidió estudiar a Euclides en su obra *Los Elementos* y adquirió con rapidez la base sobre la que hizo espectaculares desarrollos matemáticos que le permitieron obtener nuevas teorías en Física con aplicaciones en Ingeniería, que le dieron gran fama. No obstante, lo que más satisfacía a Arquímedes eran sus aportaciones matemáticas puras. Su efigie está en las célebres Medallas Fields con las que cada cuatro años se premia a unos cuatro grandes creadores matemáticos que no hayan superado los cuarenta años.

La obra de Arquímedes encontró un gran continuador en Newton en el siglo XVII, quien también recibió una fuerte influencia de *Los Elementos* de Euclides. Los primeros estudios de Newton no fueron brillantes, pero su tío, el pastor protestante William Ayscough, fue quien decidió que Newton debía prepararse para entrar en la Universidad. El 5 de junio de 1661 ingresó en el Trinity College de Cambridge.

Según de Moivre (1667 - 1754) el interés de Newton por las Matemáticas comenzó en octubre de 1663 al no poder leer un libro de astrología por no entender sus matemáticas. Entonces intentó estudiar un libro de trigonometría y observó que le faltaba base geométrica, que la adquirió con el estudio de la traducción de *Los Elementos* de Euclides que había hecho su profesor Barrow (1630 - 1677).

Barrow fue el primer titular de la célebre Cátedra Lucasiana de Matemáticas (*Lucasian Chair of Mathematics*) en la Universidad de Cambridge, cargo fundado en 1663 por Henry Lucas, miembro del parlamento inglés por la Universidad entre 1639 y 1640, y establecido oficialmente por Carlos II en 1664. Lucas, en su testamento, legó su biblioteca de 4000 volúmenes a la Universidad, y mandó la compra de terrenos que diesen un rendimiento anual de 100 libras para poder fundar una Cátedra. Ordenaba también que el profesor que ocupase esta cátedra, tenía que dar por lo menos una clase de matemáticas a la semana, y habría de estar disponible dos horas semanales para resolver las dudas de los alumnos. El segundo titular de la cátedra lucasiana fue Newton. Desde 1980 está ocupada por el conocido físico teórico Stephen Hawking (1942 –).

Al finalizar Newton sus estudios, la Universidad de Cambridge cerró tres años por epidemia de peste. Newton se retiró a la granja familiar en Woolsthorpe, donde intuyó que los fenómenos físicos se describen matemáticamente y para su cuantificación elaboró una nueva matemática, que la llamó Cálculo de Fluxiones, origen de nuestro Cálculo Infinitesimal, descubierto independientemente por Leibniz (1646 – 1716). Tras

la peste, Newton sucedió a Barrow en la Cátedra Lucasiana, fue elegido miembro de la Royal Society de Londres (1672), y en 1684 contestó de inmediato a Halley (1656 - 1742) sobre la forma elíptica de la órbita del cometa que lleva su nombre, en contraposición a la creencia de que las órbitas de los cometas eran rectilíneas. La respuesta de Newton hacía verosímil la suposición de Halley de que su cometa era el descrito por Kepler unos 70 años antes. Halley preguntó a Newton por qué sabía la forma de la órbita y Newton dio la histórica respuesta “*porque la he calculado*”, identificando matemáticas con comprensión del mundo físico.

Afortunadamente Halley convenció a Newton que escribiese un tratado completo sobre sus métodos de cálculo, su nueva Física y su aplicación a la Astronomía. Después de casi un año de reclusión, con total dedicación al nuevo libro, publicó en 1687 su obra “*Principios matemáticos de la filosofía natural*”, donde describe y cuantifica diversos fenómenos físicos. Leer hoy “*Principia*” de Newton requiere la inmersión previa en *Los Elementos*, pues la nueva matemática de los “*Principia*” está escrita con el lenguaje y notación de Euclides, único método que Newton encontró para hacerse entender por sus contemporáneos. Desde 1703 fue Presidente de la Royal Society. De esa época es su duro enfrentamiento con Leibniz por la primogenitura en el descubrimiento del Cálculo Infinitesimal. Una comisión de la Royal Society, presidida por Newton, le atribuyó la prioridad en el hallazgo del Cálculo Infinitesimal. El autoinforme redactado por Newton fue parcial, pero el tiempo ha restablecido a Leibniz el honor de compartir este descubrimiento.

Leibniz llegó al Cálculo Infinitesimal desde un punto de vista diferente del de Newton. El pensamiento de Leibniz está muy bien resumido en su obra la *Monadología* (1714), palabra que viene de “*monas*”, que significa unidad en griego, y “*logos*”, que significa tratado o ciencia. La escribió hacia el final de su vida para sustentar una metafísica de las sustancias simples, que las llamaba *mónadas* y que las concebía como elementos metafísicos indivisibles generadores de todas las cosas compuestas. Leibniz aplicó su concepción monádica a todas las ciencias que cultivó.

En Psicología postuló la existencia de ideas innatas en nuestra alma, que son despertadas por los sentidos. Son conocimientos *a priori* despertados por nuestro contacto con el mundo, que los expuso en su obra *Nuevos Ensayos sobre el Entendimiento Humano* (escrito en 1707, pero no editado hasta 1765). En esta obra idealista se apoyó Kant para redactar su *Crítica de la Razón Pura*. En este libro, Leibniz se opone a las tesis de Locke (1632 - 1704) expuestas en el “*Ensayo sobre el conocimiento humano*” (1660), donde se afirma que no hay ideas innatas y sólo existe adquisición de ideas elaboradas sobre la experiencia de las percepciones de los sentidos.

La concepción monádica llevó a Leibniz a una formulación de la Dinámica contrapuesta a la cartesiana, y en Matemáticas a descubrir el cálculo infinitesimal, diferencial e integral, con sus descomposiciones “*elementales*”, que Leibniz interpretó como *mónadas matemáticas*.

Los éxitos en la descripción y predicción matemática de fenómenos naturales estimularon nuevos desarrollos matemáticos y físicos, que originaron una confianza ilimitada en que el binomio razón-experimentación, con el lenguaje universal de las operaciones algebraicas y los métodos infinitesimales, podía resolver cualquier problema.

Este optimismo filosófico llevó a la revisión empírica de las nociones fundamentales sobre el hombre y la ciencia y originó el movimiento filosófico y social conocido como la Ilustración, que nació en Inglaterra y pasó inmediatamente a Francia, donde en 1695 se publicó el famoso *Dictionnaire historique et critique* de P. Boyle (1647 – 1706). Más tarde Maupertuis (1698 – 1759) y Voltaire (1694 – 1778) hicieron que la mecánica de Newton, y con ella las ideas del empirismo inglés, fueran discutidas en academias y en otros círculos cultos. El éxito de la traducción de Diderot (1713 – 1784) de un diccionario inglés de medicina promovió que el propio Diderot y el matemático D'Alambert (1717 – 1783) iniciasen desde 1751 la publicación de la *Enciclopedia*, resúmenes claros de todos los conocimientos y progresos hechos por los mejores especialistas franceses. Desde Francia, las ideas de la *Ilustración*, en particular la libertad de pensamiento, se difundieron por la Europa del siglo XVIII y penetraron en todas las cortes europeas, provocando repugnancia hacia las medidas coercitivas del *antiguo régimen*. Europa vivió en continuas guerras durante el siglo XVIII y los continuos movimientos de tropas favorecieron la difusión de las ideas de la Ilustración.

La pugna por la corona española entre Felipe de Anjou y el archiduque Carlos de Habsburgo desató la primera guerra europea del siglo XVIII entre 1702 y 1713. Si bien en España continuó como una guerra civil, Francia y Castilla lucharon contra Austria, Inglaterra, Holanda, Prusia, Portugal y Saboya. El motivo sucesorio escondía el intento de las potencias europeas de acabar con la hegemonía francesa en Europa durante el reinado de Luis XIV, el rey Sol. La paz de Utrecht (1713) supuso la entrega de Gibraltar a Inglaterra, el reparto de las posesiones españolas en Europa y el dar al Elector de Brandeburgo el título de rey de Prusia, lo que supuso el nacimiento de una nueva potencia desde la que Federico II (1712 – 1786) intervino en los sucesivos conflictos europeos.

Federico II creó la famosa Academia de Berlín quince años después de la fundación en 1725 de la Academia de San Petersburgo por Catalina I (1684 – 1727), esposa del zar Pedro I (1672 – 1725), modernizador europeísta del vasto imperio ruso y fundador de la ciudad San Petersburgo, a orillas del Báltico. En ambas academias fue determinante la presencia del mejor matemático del siglo XVIII, Leonhard Euler. Voltaire, Lambert y Maupertuis estuvieron en la nómina de la Academia de Berlín y Diderot, tres de los Bernoulli, Daniel, Jacob y Nicolaus, y Golbach en la de San Petersburgo.

Otra dos conflagraciones europeas vio el siglo XVIII: La Guerra de Sucesión de Austria (1740 – 1748), originada aparentemente por la sucesión al trono de Austria, pero generada realmente por la política de expansión de Federico II de Prusia con la anexión de Silesia, y la Guerra de los Siete Años (1756 – 1763), que enfrentó a Prusia e Inglaterra contra Francia, España, Rusia, Polonia y Suecia, redefiniendo el inestable mapa político del viejo continente. El ejército ruso saqueó una finca propiedad de Euler. La corte rusa ordenó al general al mando de las tropas restituirle los daños causados, pagándole 4000 florines como indemnización. En esta decisión de la corte rusa debió influir el gran prestigio de Euler en toda Europa, así como el haber trabajado para el gobierno ruso entre 1727 y 1741.

2.- VIDA Y OBRA DE EULER

El 15 de abril de 2007 se cumplió el tricentenario del nacimiento cerca de Basilea de Leonhard Euler (1707 – 1783). Su padre, modesto pastor protestante, acariciaba la idea de que su hijo Leonhard le sucediese en el púlpito, a lo que parecía estar destinado Euler, dado que su madre también procedía de una familia de pastores. Fue un joven precoz, con un don especial para las lenguas, una memoria extraordinaria y una increíble capacidad de cálculo mental.



A los 14 años (1721) entró en la Universidad de Basilea, donde el profesor más famoso que tuvo fue Johann Bernoulli (1667 – 1748), hombre orgulloso y arrogante, tan rápido en despreciar el trabajo de los demás como en vanagloriarse del suyo propio, lo que tenía cierto fundamento ya que en 1721 Johann Bernoulli podía proclamarse como el mejor matemático en activo, pues conocía la obra de Newton y Leibniz, quien ya había muerto en 1716, sólo y abandonado por todos, y el anciano Newton¹ no trabajó en matemáticas desde que terminó sus “*Principia*”. El cálculo diferencial e

integral eran poco conocidos en la Europa del comienzo del siglo XVIII, pues el primer manual de cálculo diferencial con aplicaciones al estudio de curvas, *Analyse des infiniment petits*, lo publicó el Marqués de L'Hôpital en 1696, recopilando algunas lecciones de Johann Bernoulli², el cálculo de fluxiones de Newton aparece brevemente en el apéndice *Tractatus de quadratura curvarum* de su *Óptica*, publicada en 1704, sus ideas sobre desarrollos en series infinitas eran conocidas por alguno de sus muy pocos amigos personales, la obra *De analysis per equationes numero terminorum infinitas* vio la luz en 1711 y su sistema de cálculo diferencial e integral está desarrollado en *Methodus fluxionum et serierum infinitarum*, publicado en 1727, después de su muerte. En 1684 apareció la primera parte del cálculo diferencial de Leibniz en la revista *Acta Eruditorum*, que en la década de los noventa del siglo XVIII recogió artículos de Leibniz y de los Bernoulli (Johann, Jacob, Daniel, ...) con soluciones de problemas famosos, como el de la catenaria, la braquistocrona y los isoperimétricos, que van a demostrar la potencia de las nuevas herramientas matemáticas.

Todo lo anterior justifica que a principios del siglo XVIII muy pocos conocían la valiosa herramienta del cálculo infinitesimal. Fue providencial para la ciencia que Johann Bernoulli viviese en Basilea justo en el momento en que Euler necesitaba un tutor. Bernoulli sugería lecturas matemáticas a Euler y discutía con él aquellos puntos que parecían especialmente difíciles. Pronto Johann Bernoulli se dio cuenta de las

¹ Newton fue enterrado en la abadía de Westminster, con honores regioes y con la asistencia de Voltaire, once años después, justo cuando Jacob y Nicolás Bernoulli invitaron a Euler a sumarse a la aventura de la Academia de San Petersburgo

² Su publicación completa se hizo en 1742.

cualidades de su joven alumno. Según transcurrieron los años, fue Bernoulli el que se convirtió cada vez más en discípulo de su joven alumno y en una carta escribió a Euler:

“Yo represento el análisis superior como si estuviera en su infancia, peor tú lo estás llevando a su estado adulto”.

No obstante, la educación universitaria de Euler no fue en Matemáticas. Se licenció en filosofía. Sus primeros escritos fueron sobre la templanza y sobre la historia de la ley. Luego ingresó en la escuela de teología para convertirse en pastor. Pero su vocación eran las matemáticas. Años más tarde escribió:

“Tuve que matricularme en la facultad de teología y dedicarme al estudio del griego y el hebreo, pero no progresé demasiado pues la mayor parte de mi tiempo lo dedicaba a los estudios matemáticos y, por suerte, las visitas de los sábados a Johann Bernoulli continuaron”.

Dejó el ministerio con el propósito de convertirse en matemático. Su progreso fue rápido y a los veinte años quedó en segundo lugar en el Gran Premio de la Academia de Ciencias de París por su artículo sobre el emplazamiento óptimo de los mástiles en un barco de guerra. Este premio fue un presagio de lo que vendría más tarde.

En 1725, Daniel Bernoulli (1700 – 1782), hijo de Johann y gran amigo de Euler, llegó a Rusia para ocupar una plaza de matemáticas en la nueva Academia de San Petersburgo. En julio de 1726 murió Nicolás (II) Bernoulli (1695 - 1726) en San Petersburgo, dejando una vacante en la Academia de San Petersburgo que se le ofreció a Euler para explicar aplicaciones de la matemática y de la mecánica a la fisiología. Se puso a estudiar fisiología con su característica laboriosidad y aceptó la plaza en noviembre de 1726, pero no viajó a Rusia hasta la primavera del año siguiente, pues intentó obtener una plaza vacante de profesor de Física en la Universidad de Basilea. Escribió un artículo sobre acústica, que se convirtió en clásico, para aumentar sus méritos para la obtención de la plaza. Al saber que no había sido elegido, en lo que su juventud influyó negativamente, dejó Basilea el 5 de abril de 1727 y viajó en barco por el Rin, cruzó en diligencia Alemania y otra vez en barco viajó desde Lübeck a San Petersburgo, donde llegó el 17 de mayo de 1727.

Cuando llegó a San Petersburgo en 1727, Euler fue asignado a la división de física y matemáticas y descubrió la relación $\ln(-1) = i(2k + 1)\pi$. Poco después, en 1729, introdujo las funciones beta y gamma. Rusia vivía una época de inestabilidad política desde la muerte de Catalina I en 1727 que provocó intolerancia y sospecha hacia los extranjeros. En palabras de Euler, la situación era *“bastante difícil, convirtiendo a Rusia en un país en que cada persona que hablaba era colgada”*. Entonces la Academia estaba dirigida por el burócrata Joham Schunacher cuya mayor preocupación era *“la supresión del talento allí donde pudiera asomar inconvenientemente”*.

Durante sus primeros años en Rusia residió en casa de Daniel Bernoulli, catedrático senior de Matemáticas en la Academia, y ambos se involucraron en amplias discusiones sobre física y matemáticas, que anticiparon el curso de la ciencia europea en las siguientes décadas. En 1733 Daniel Bernoulli se trasladó a Suiza para ocupar un puesto académico. La marcha de su buen amigo produjo un vacío en la vida de Euler, pero provocó su ascenso a catedrático senior de Matemáticas, mejorando su situación

económica. Contrajo matrimonio con Katharina Gsell, hija de un pintor suizo que vivía en Rusia. En las cuatro décadas que duró el matrimonio tuvieron trece hijos, de los que sólo cinco alcanzaron la adolescencia y tan sólo tres sobrevivieron a sus padres.

En la Academia de San Petersburgo Euler dedicó mucho tiempo a la investigación, estando a disposición del estado ruso que pagaba su salario. Preparó mapas, asesoró a la armada rusa y probó diseños de bombas contra incendios.

En sus trabajos sobre Teoría de Números parece haber sido estimulado por Golbach (1690 – 1764) y también por los propios Bernoulli. En 1729 Golbach preguntó a Euler si sabía si era o no cierta la conjetura de Fermat de que todos los números $2^{2^n} + 1$ son primos. En 1732 Euler demostró que $2^{32} + 1 = 4294967297$ no es primo, pues es múltiplo de 641. De ese período son sus aportaciones a conjeturas de Fermat y, en particular, su demostración de que el problema de Fermat de exponente 3 no tiene soluciones enteras ($x^3 + y^3 = z^3$). No consiguió resolver el problema de Fermat para un exponente n cualquiera, ni tampoco la demostración de que *todo número par es la suma de dos números primos*, conjetura debida a Christian Goldbach, que Euler pensaba que era cierta y que aún no se ha podido probar ni refutar.

En 1735 obtuvo la llamada constante γ , límite de $1/1 + \dots + 1/n - \ln n$, y resolvió el famoso *problema de Basilea* planteado por Pietro Mengoli (1625 – 1686) en 1644 a Jacob Bernoulli (1654 – 1705) y consistente en obtener la suma de la serie $\zeta(2) = \Sigma(1/n^2)$, con el que Leibniz, Stirling y de Moivre habían fracasado. Euler demostró que $\Sigma(1/n^2) = \pi^2/6$. También en 1735 fue nombrado director de la sección de geografía de la Academia de San Petersburgo con la misión de ayudar a Delisle en la preparación de un mapa del imperio ruso. El *Atlas ruso*, fruto de esta colaboración apareció en 1735 con 20 mapas. Ese año comenzaron sus problemas de salud y casi perdió la vida por una fuerte infección con fiebre muy alta, tal vez origen de los problemas oculares que luego tuvo, si bien Euler creía que sus problemas oculares, que comenzaron en 1738, habían estado provocados por sus sobreesfuerzos con los trabajos cartográficos para el gobierno ruso.

En 1736 publicó su libro *Mecánica*. Hasta entonces los métodos utilizados en Mecánica eran geométricos y sintéticos, con enfoques particulares para cada problema. Euler fue el primero en introducir los métodos analíticos en mecánica, lo que posibilitó la resolución de los problemas de forma clara y directa. Es el fundador de la *Mecánica racional* comenzando el estudio de la cinemática y dinámica de los sólidos rígidos con las ecuaciones diferenciales de su movimiento. Euler nos dejó otros dos tomos de mecánica racional dedicados a la ciencia naval, donde estableció la versión definitiva de los principios hidrostáticos³ y estudió con detalle el problema de la propulsión de un navío, aplicando principios variacionales a la determinación de su forma óptima.

En 1737 hizo su mayor contribución a la Teoría de números al obtener que la función zeta $\zeta(s) := \Sigma_1^{\infty}(1/n^s)$ está relacionada con el conjunto de los números primos por la igualdad $\zeta(s) = \Pi_1^{\infty}(1 - p^{-s})^{-1}$, lo que supuso el inicio de la Teoría Analítica de Números.

³ El primero en estudiar científicamente los principios hidrostáticos fue Arquímedes.

La pérdida de la visión en su ojo derecho en 1738, no influyó en su producción matemática, que aplicó a la composición musical escribiendo en 1739 su *Tentamen novae theoriae musicae*, considerada por los músicos demasiado avanzada en matemáticas y por los matemáticos demasiado musical. En 1738 y 1740 obtuvo el Gran Premio de la Academia de Ciencias de París por diferentes trabajos de mecánica celeste. Euler hizo importantes trabajos en astronomía sobre determinación de órbitas de cometas y planetas con pocas observaciones, métodos de cálculo del paralaje del sol, teoría de la refracción y naturaleza física de los cometas. Los trabajos sobre la luna de Euler los utilizó Tobías Mayer para la construcción de sus tablas para determinar longitudes⁴.

El *cálculo de variaciones* es otra área en la que Euler hizo descubrimientos fundamentales y en 1740 se publicó su obra *Methodus inveniendi lineas curvas*, una de las más bellas obras matemáticas escritas, en palabras de Carathéodory. Euler investigaba a ritmo vertiginoso. A veces eran de Euler la mitad de los artículos de los números de la revista de la Academia de San Petersburgo. Leonhard Euler creía que cualquier problema matemático o físico tenía solución. Por ello buscó un método general para resolver ecuaciones polinómicas de cualquier grado; no lo encontró y hoy sabemos que no existe una fórmula general para resolver esas ecuaciones de grado mayor o igual a cinco. Consiguió un nuevo método para resolver ecuaciones de grado cuatro, incluido en un método general que le daba la solución de las ecuaciones de grados dos, tres y cuatro, es decir, llegó a lo máximo posible en la resolución de ecuaciones polinómicas. Los problemas de visión tampoco le impidieron comenzar su obra *Álgebra*, completa exposición de 775 páginas.

Su gran prestigio motivó que Federico II el Grande (1712 – 1786) le ofreciese un puesto en la recién creada Academia de Ciencias de Berlín, por transformación de la Sociedad de Ciencias. En 1741, Leonhard Euler, Katharina y su familia se trasladaron a Alemania, si bien siguió recibiendo regularmente parte de su estipendio desde Rusia, que utilizó en la compra de libros e instrumentos para la Academia de San Petersburgo, en cuya revista siguió publicando continuamente. También siguió prestando su atención a los jóvenes matemáticos rusos.

Vivió en Berlín un cuarto de siglo, que coincidió con la fase intermedia de su carrera matemática en la publicó alrededor de 380 artículos. En 1744 obtuvo la representación de la función $\pi/2 - x/2$ en serie trigonométrica $(\text{sen}x + (\text{sen}2x)/2 + (\text{sen}3x)/3 + \dots)$. En 1748 publicó su *Introductio in analysis infinitorum*, donde da la fórmula $e^{ix} = \cos x + i \text{sen}x$. De 1750 son artículos básicos de *mecánica de fluidos* donde expone las tres ecuaciones básicas en este tópico, hoy llamadas ecuaciones de continuidad, de Laplace y de Euler. Euler, siempre respetuoso y generoso con las investigaciones de otros matemáticos, escribió: “*Las sublimes investigaciones sobre fluidos que debemos a los Bernoulli, Clairaut y d’Alambert, se deducen de forma muy natural de mis dos fórmulas generales, por lo que nunca admiraremos bastante la coincidencia entre los resultados de sus profundas meditaciones con la sencillez de los principios de los que he deducido mis dos ecuaciones*”.

⁴ En 1765 la viuda de Mayer recibió un premio de 3000 libras del gobierno británico por la aplicación de sus tablas en el problema de determinar la longitud, y Euler recibió 300 libras por su contribución teórica.

A partir de 1755 publicó sus *Institutiones calculi differentialis* (en tres volúmenes), donde investigó las integrales dobles y las ecuaciones diferenciales ordinarias y en derivadas parciales. Fueron los problemas en física matemática los que llevaron a Euler al estudio de las ecuaciones diferenciales. Le debemos estudios sobre ecuaciones diferenciales con coeficientes constantes, ecuaciones diferenciales de segundo orden con coeficientes variables, y los métodos de obtener soluciones de ecuaciones diferenciales por series de potencias, por variación de constantes, por factores integrales y muchos otros. También seguimos utilizando su método de obtener soluciones aproximadas de ecuaciones diferenciales. El estudio de las membranas vibrantes le llevó a las ecuaciones de Bessel, que resolvió introduciendo las hoy llamadas funciones de Bessel.

También debemos a Euler importantes contribuciones en geometría diferencial, particularmente en la investigación de la curvatura de superficies. Algunos resultados no publicados por Euler fueron redescubiertos por Gauss. Otras investigaciones geométricas le llevaron a ideas fundamentales en topología, como la característica de Euler de un poliedro.

De agosto de 1760 es una carta de Euler sobre la visión en la que escribe: “*Estoy ahora en condiciones de explicar fenómenos de la visión, que indudablemente son una de las grandes operaciones de la naturaleza que la mente humana puede contemplar*”. Entonces tenía muy poca visión y pronto quedó ciego. Pero Euler no era persona que dejase que sus infortunios personales interfirieran en su actitud hacia las maravillas de la naturaleza.

Durante su estancia en Berlín dio clases de ciencia elemental a la princesa Anhalt Dessau y se publicaron sus clases en una excelente obra divulgativa titulada *Cartas de Euler dirigidas a una princesa alemana sobre diferentes temas de filosofía natural*⁵ (que se publicaron en tres volúmenes que aparecieron entre 1768 – 1772, después de que Euler abandonase la Academia de Berlín). Contiene unas doscientas cartas sobre la luz, el sonido, la gravedad, la lógica, el lenguaje, el magnetismo y la astronomía. Explica con claridad diferentes fenómenos físicos de la naturaleza, como la disminución de la temperatura al subir una montaña, el gran tamaño de la imagen de la luna al surgir por el horizonte o el color azul del cielo. También expone problemas filosóficos, dedicando especial atención al *problema del mal en el mundo*.

En 1765 publicó un tratado maestro sobre mecánica, *Teoría motus corporum solidorum*, donde descompone el movimiento de un sólido rígido en la composición de un desplazamiento y un giro. En esa obra introdujo los ángulos de Euler y estudió los problemas relacionados con la precisión de los equinoccios.

Cuando Euler llegó a Berlín el presidente de la Academia era Maupertuis (1698 - 1759)⁶, de quien Euler se hizo muy amigo. Ocupó el puesto de director de Matemáticas.

⁵ Están traducidas a casi todos los idiomas. En 1833 se publicaron en Estados Unidos.

⁶ Maupertuis fue un célebre geómetra francés que dirigió la expedición a Laponia entre 1736 y 1737 para medir allí la longitud de un grado de meridiano. Le acompañó el científico sueco Celsius. Su comparación con la medición de un grado de meridiano en Quito, realizada por otra expedición en la que participó de forma muy destacada el valenciano Jorge Juan, permitió concluir que la Tierra está achatada por los polos.

Además de sus investigaciones matemáticas, estaba profundamente involucrado en labores administrativas, pues aunque oficialmente no era el director de la Academia, desempeñaba ese puesto de manera informal, asumiendo responsabilidades que iban desde administrar los presupuestos hasta vigilar los invernaderos.

Cuando murió Maupertuis, Euler asumió al dirección de la Academia, pero no fue nombrado Presidente, pues Federico II, muy influido por Voltaire⁷, prefería tener un científico francés como director, y le ofreció a D'Alambert la presidencia de la Academia de Berlín, lo que causó un gran disgusto a Euler y decidió regresar a San Petersburgo, sabiendo que la situación en Rusia había mejorado durante su ausencia, particularmente con el acceso al trono de Catalina II la Grande (1729 – 1796). Euler estaba feliz con el regreso a San Petersburgo en 1766. Tenía 59 años y en esta segunda etapa en Rusia iba a producir el cincuenta por ciento de su obra. La Academia de San Petersburgo no debió dar crédito a su buena suerte al dar la bienvenida de nuevo al entonces mejor matemático del mundo. Esta vez, Euler se quedaría para siempre.

Entre 1768 y 1770 se publicó su libro *Instituciones calculi integralis* donde investigó las integrales que pueden expresarse por funciones elementales, estudió las hoy llamadas funciones beta y gamma de Euler, que había descubierto en 1729 y a las que Legendre llamaba Integrales eulerianas de primera y segunda clase, rebautizadas por Binet y Gauss con los nombres de funciones beta y gamma. En esta obra dedicó varios capítulos a las ecuaciones diferenciales ordinarias y en derivadas parciales.

Poco después de su regreso a Rusia quedó completamente ciego. En 1771 el fuego destruyó su casa y sólo se salvo él y sus manuscritos matemáticos. Luego tuvo una operación de cataratas que le devolvió la vista por unos días, pero parece que no se cuidó bien y volvió a quedar ciego totalmente. En 1773 murió su esposa Katharina⁸. Estas desgracias y la ceguera pudieron haber marcado el final de sus años productivos, pero Euler no era un hombre corriente e incrementó su producción científica. Siguió trabajando en óptica, álgebra y en el movimiento lunar gracias a su enorme habilidad de cálculo, a su gran memoria⁹ y a la ayuda de sus hijos Christoph Euler, que era militar de carrera, y Johann Albrecht Euler, quien ocupaba la cátedra de Física en la Academia de San Petersburgo desde 1766 y la secretaría de la Academia desde 1769. También fue ayudado por los académicos W. L. Krafft y A. J. Lexell, y por el joven matemático suizo N. Fuss, nieto político de Euler, que había sido invitado a trabajar en la Academia

⁷ Federico II y Voltaire veían a Euler muy encerrado en sus matemáticas. Federico II se consideraba a sí mismo como un erudito intelectual irónico que gustaba de la filosofía, poesía y de cualquier cosa que fuese francesa. Por ello los asuntos de la Academia se trataban en francés y no en alemán. A Euler le llamaba “*mi ciclope ilustrado*”, en sádica referencia a su pérdida de visión en un ojo. Por su parte El cáustico Voltaire describía a Euler como alguien que “*nunca aprendió filosofía, por lo que tenía que contentarse con la fama de ser el matemático que en un cierto tiempo ha llenado más hojas de papel con cálculos*”. Las desavenencias tuvieron su origen en que Euler fue una persona completamente convencional, siempre amable, generosa, hogareña y no amante de los fastos de la corte. Sólo así pudo realizar su colosal obra científica. Además era calvinista muy devoto, leía cada noche en familia un capítulo de la Biblia y le gustaba estudiar teología.

⁸ Tres años después de la muerte de su mujer, Euler se casó con la hermanastra de ésta, encontrando una compañera con la que compartir sus últimos años.

⁹ Podía recitar en latín la *Eneida* completa, y decir, sin utilizar lápiz ni papel, los 100 primeros números primos, sus cuadrados, cubos y hasta sus potencias sextas.

en 1772. En 1775, Euler escribió un promedio de un artículo matemático por semana. Trabajó incesantemente hasta su repentina muerte el 18 de septiembre de 1783¹⁰.

Euler produjo más de 800 libros y artículos y sus obras completas, que se han reeditado en parte con el nombre *Opera Omnia*, ya ocupan 73 volúmenes¹¹. La mitad de las obras de Euler son de matemática pura, teoría de números, álgebra, análisis, geometría, geometría diferencial, topología y teoría de grafos. Dedicó una cuarta parte de su obra a la mecánica, dinámica de fluidos, óptica y acústica. El resto de su obra se reparte entre astronomía, náutica, arquitectura, artillería, música y filosofía. Sin embargo, la excelente valoración de Euler en el mundo matemático se debe más a la riqueza, originalidad, belleza y agudeza de su obra que a su volumen, pues hizo contribuciones decisivas en todas las áreas en las que investigó.

Uno de los puntos claves de su obra está en la maravillosa fusión que hizo del cálculo diferencial de Leibniz con el método de fluxiones de Newton, creando el Análisis Matemático, lo que le permitió el desarrollo sistemático de las ecuaciones diferenciales y la exposición analítica de la Mecánica, que le proporcionaron las herramientas para sus descubrimientos en dinámica de fluidos, elasticidad, dinámica de los tres cuerpos, movimiento lunar, acústica, teoría ondulatoria de la luz, hidráulica y música.

Su genio es equiparable al de Shakespeare, Bach o Miguel Ángel, pero sigue siendo desconocido para el gran público. Si se conociese cuántos de los resultados que utilizamos se deben a Euler se agigantaría su figura, se le situaría en la cima de la historia de las matemáticas y sería un referente ejemplar de laboriosidad y férrea disciplina de trabajo, a pesar de los serios contratiempos que le acompañaron, particularmente los problemas de falta de visión.

En su elogio fúnebre, el marqués de Condorcet señaló que “*cualquiera que se dedice a las matemáticas en el futuro sería guiado y sostenido por el genio de Euler de quien todos los matemáticos son sus discípulos*”. Años más tarde Laplace dijo “*Leed a Euler, leed a Euler. Él es el maestro de todos nosotros*”. El siglo pasado André Weil, uno de los mejores matemáticos del siglo XX, escribió “*Durante toda su vida ... parece haber llevado en la cabeza la totalidad de las matemáticas de su época, tanto puras como aplicadas*”.

¹⁰ El 18 de septiembre de 1783 dio clase de matemáticas por la mañana a uno de sus nietos, estuvo trabajando sobre las ecuaciones del ascenso de globos, entonces tema de interés provocado por el reciente ascenso de los hermanos Montgolfier sobre el cielo de París en un globo propulsado por aire caliente. Después de comer hizo algunos cálculos con Lexell y Fuss sobre el planeta Urano, recientemente descubierto y cuya órbita parecía perturbada por la existencia de un planeta exterior. En efecto, en las décadas siguientes, el análisis de la órbita del planeta, analizada a la luz de las ecuaciones que Euler había depurado, llevó a los astrónomos a buscar, y a descubrir, el todavía más distante planeta Neptuno. Si el ciego Euler hubiera tenido tiempo hubiera dedicado tiempo al reto de buscar matemáticamente el entonces desconocido planeta Urano. Pero no iba a tener tal oportunidad. A media tarde de esa típica jornada atareada, tuvo una hemorragia cerebral que sólo le permitió decir “*me estoy muriendo*” antes de quedar inconsciente. Murió alrededor de las once de noche.

¹¹ Un proyecto editorial que comenzó en 1911 y del que faltan por aparecer volúmenes de correspondencia científica y otros manuscritos. Se estima que la obra completa de Euler ocupará unos 86 volúmenes.

3.- JORGE JUAN.

La abolición de los fueros y privilegios del Reino de Valencia influyeron muy negativamente en su desarrollo científico, pues impidieron muchas iniciativas que hubiesen resultado muy fructíferas¹². También fue muy negativo para Valencia que no estableciesen colegios de cirugía o academias militares semejantes a los que se implantaron en otras ciudades, pues la reforma y modernización de la Armada y del Ejército originó la creación de instituciones modernas científico-técnicas. Por todo ello la enseñanza oficial de las matemáticas en la Valencia del siglo XVIII estuvo localizada en la Academia de San Carlos, cuyos estatutos de 1768 recogieron la necesidad de una adecuada y rigurosa formación científico técnica de los arquitectos, estableciendo que:

“Todos lo que, en lo sucesivo, hayan de ejercer la arquitectura y, sobre todo, el trabajo de medir, tasar, proyectar y dirigir fábricas estarán habilitados por la Academia y no por ningún otro tribunal, magistrado, gremio ni ninguna otra persona, e igualmente irá precedido de un examen riguroso en Junta ordinaria, que versará no sólo sobre arquitectura, sino también sobre práctica de la geometría, aritmética, maquinaria y otras ciencias matemáticas necesarias para hacer con acierto unas operaciones en las que tanto se interesan mis vasallos”.

Pero, aún con tan adversas condiciones, Valencia fue durante el siglo XVIII uno de los principales centros de renovación científica en España, dando gran importancia a la formación matemática, gracias a la influencia y prestigio de Jorge Juan.



Jorge Juan (1713 – 1773) fue un eminente marino, matemático, topógrafo y estadista natural de Novelda (Alicante). Era hijo de don Bernardo Juan y Canicia, descendiente de los Condes de Peñalba, y de doña Violante Santacilia y Soler de Cornellá, miembro de una hacendada familia de Elche. Ambos eran viudos y casados en segundas nupcias. Vivían en la Plaza del Mar de Alicante y pasaban temporadas de descanso en Novelda.

Tenía tres años de edad cuando quedó huérfano de padre. Estudió sus primeras letras en el colegio de la Compañía de Jesús de Alicante bajo la tutoría de su tío don Antonio Juan, canónigo de la colegiata. Poco después, su otro tío don Cipriano Juan, Caballero de la Orden de Malta, se encargó de su educación enviándole a Zaragoza para que cursara allí los estudios de Gramática, que en aquel tiempo constituían una enseñanza preparatoria para otros estudios superiores.

A los doce años, y tras un minucioso examen concerniente a la limpieza de sangre de sus antecesores, fue aceptado y enviado a la isla de Malta para recibir el hábito de esa Orden. Un año después fue nombrado paje del Gran Maestre don Antonio

¹² Como la idea de Antonio de Bordázar de continuar la obra dels novators impulsando una academia de matemáticas que llevase la ciencia a todos los estamentos sociales.

Manuel de Villena, quien a los catorce años le concedió el título de Comendador de Aliaga, lo que nos permite afirmar que Jorge Juan ya había *corrido carabanás*¹³, lo que debió influir en su vocación de marino. La condición de Caballero de la Orden de Malta obligaba al celibato por vida.

En 1729, con dieciséis años de edad, regresó a España para solicitar su ingreso en la Real Academia de Guardias Marinas, escuela naval militar fundada por Patiño en 1717 en Cádiz. Tras seis meses de espera asistiendo como oyente, ingresó en 1730 en esa Escuela Naval, donde se impartían modernos estudios técnicos y científicos, divulgando las entonces avanzadas teorías de Newton. Asignaturas básicas eran Geometría, Trigonometría, Observaciones astronómicas, Navegación, Cálculos de Estima, Hidrografía y Cartografía, completando la formación humanística con clases de Dibujo, Música y Danza. Pronto Jorge Juan adquirió fama de alumno muy aventajado. Sus compañeros le dieron el sobrenombre de *Euclides*.

Cádiz era una puerta abierta a la Europa ilustrada, a las corrientes enciclopedistas y al comercio con América, en una España que se resistía al avance de las nuevas ideas. El mismo Voltaire tenía una casa comercial de vinos en Cádiz.

Todo esto debió de influir en la formación del joven Jorge Juan. En 1734, con 21 años de edad, finalizó sus estudios de Guardia Marina, tras haber navegado durante tres años por el Mediterráneo, participando en numerosas expediciones de castigo a los piratas, en la campaña de Orán y en la misión que acudió a Nápoles para sentar en el trono al entonces infante don Carlos, que más tarde sería Carlos III de España. Entre otros maestros en el arte de navegar tuvo como general al Marqués de Mari, su capitán en la Academia de Cádiz, y como comandantes al Conde de Clavijo, al célebre don Blas de Lezo y a don Juan José Navarro, después Marqués de la Victoria.

Desde los griegos, un gran problema científico ha sido el averiguar la forma de la Tierra. Durante muchos siglos se la consideró esférica. Antes comentamos que Huyghens propuso como patrón universal para medir distancias a la longitud de un péndulo de período un segundo. Pero poco después se confirmó experimentalmente que el péndulo no oscilaba con la misma frecuencia en diferentes lugares, lo que hacía suponer la no esfericidad de la forma de la Tierra y complicaba la fijación de patrones universales para las medidas de longitud. Además, en el siglo XVIII se generó una fuerte polémica entre los partidarios de la mecánica de Descartes que decían que la Tierra era alargada por los polos y los que utilizaban las ideas de la mecánica newtoniana que afirmaban que la Tierra estaba achatada por los polos¹⁴.

Estas dudas sobre la forma de la Tierra provocaron que un gran número de científicos, fundamentalmente geómetras franceses, pidieran ayuda a la Academia de Ciencias de París y a la Secretaría de Marina de Francia para hacer dos expediciones, una a Laponia y otra a Quito, con la intención de resolver definitivamente el problema midiendo la longitud de un grado de meridiano en cada lugar, pues la longitud menor correspondería al menor radio.

¹³ Consistían en navegar contra los galeotes moros.

¹⁴ Entre los primeros estaba el académico Cassini y muchos pensadores españoles de la España ilustrada de Feijóo. Entre los segundos estaban Newton y sus seguidores, como Halley, Huygens y Maupertuis.

La expedición a Laponia se entre 1736 y 1737. Fue dirigida por el geómetra francés Maupertuis contó con la participación del científico sueco Celsius.

La expedición al virreinato español de Perú fue más larga y complicada. En 1734, Felipe V recibió la solicitud de su primo el rey Luis XV de Francia, para que una expedición de la *Académie Royale des Sciences de Paris* formada por Louis Godin, Pierre Bouger y Charles M. de la Condamine, pudiese viajar a Quito, en el Virreinato de Perú, para medir la longitud de un arco de meridiano de un grado.

Felipe V, admirador de los sabios franceses, quiso participar en la empresa y en una Orden de 20 de agosto de 1734 ordenó elegir a

“...dos de sus más hábiles oficiales, que acompañasen y ayudasen a los académicos franceses en todas las operaciones de la medida, no sólo para que así pudiese hacerse con mayor facilidad y brevedad, sino también para que pudiesen suplir la falta de cualquier académico, o de todos, temible en tantas navegaciones, y diferencias de climas, y para continuar, y aún hacer enteramente ellos solos, en caso necesario, la medida proyectada, para dar después cuenta de ella a la Academia Real...”

participando además en la mitad de los gastos de la expedición. También ordenó que

“eligiesen dos personas en quienes concurrieran no sólo las condiciones de buena educación, indispensables para conservar amistosa y recíproca correspondencia con los académicos franceses, sino la instrucción necesaria para poder ejecutar todas las observaciones y experiencias conducentes al objeto, de modo que el resultado fuese fruto de sus propios trabajos, con entera independencia de lo que hicieran los extranjeros”.

Sorprendentemente se eligió, no a dos oficiales, sino a dos jóvenes guardias marinas, al alicantino Jorge Juan y Santacilia y al sevillano Antonio de Ulloa y de la Torre-Guiral (1716 – 1795). Ambos habían finalizado sus estudios brillantemente, tenían veintiuno y diecinueve años y carecían de graduación militar. Se les ascendió directamente a tenientes de navío, y desde el primer momento surgió una amistad y comprensión que se prolongó toda la vida. Se repartieron el trabajo según las instrucciones recibidas: Jorge Juan sería el matemático y Antonio de Ulloa el naturalista.

“Se les encomendó llevar el diario completo del viaje y de todas las medidas físicas y astronómicas que se realizasen, determinar longitudes y latitudes de los diversos sitios por los que pasasen, trazar caminos y mejorar los existentes, levantar planos y cartas. Describir puertos, fortificaciones y costumbres, anotar observaciones etnográficas, realizar estudios de botánica y mineralogía de las zonas visitadas, y elaborar un informe secreto sobre la situación política y social de los virreinos. Además debían realizar un control policíaco sobre los académicos franceses, dado que en su paso por las colonias podrían obtener datos que caerían en manos de los ministros de Luis XV.”

Con todas estas instrucciones partieron de Cádiz el 26 de mayo de 1735 en compañía del Marqués de Villagarcía, que acababa de ser nombrado virrey del Perú.

Jorge Juan viajó en el navío *El Conquistador* y Antonio de Ulloa en la fragata *Incendio*. Llegaron el 7 de julio a Cartagena de Indias, pero hasta el 15 de noviembre no lo hicieron los académicos franceses. Juntos emprendieron la ruta por Guayaquil para llegar a Quito.

La medición del grado de meridiano en Quito se prolongó desde 1736 a 1744 debido a que tuvieron que superar grandes dificultades. Los dos jóvenes guardiamarinas cumplieron sobradamente las múltiples tareas que se les habían encomendado. Allí se les conocía como *los caballeros del punto fijo*, pues utilizaban triangulaciones que exigían poner señales en puntos o bases elegidas, tanto en llano como en cumbres de 5000 metros de altura. Las ciudades de Quito y Cuenca, situada tres grados al sur de Quito, limitaron los extremos de la medición; entre ambas, una doble cadena de montañas paralelas facilitaba la elección de vértices a una y otra parte del gran valle que las une.

Decidieron separarse en dos grupos. Un grupo lo dirigieron Godín y Jorge Juan; el otro La Condamine, Bouguer y Ulloa. Ambos grupos efectuaron las medidas por separado y en sentido contrario, con el fin de comprobar su exactitud. La unidad de medida empleada era la *toesa* equivalente a 1,98 metros. Después de varias comprobaciones, hubo que complementar las mediciones geométricas con las astronómicas. Tuvieron la dificultad adicional de que el instrumental adolecía de graves defectos, por lo que hubo que repetir numerosas veces tanto mediciones como cálculos. Godín, Jorge Juan y el relojero Hugot tuvieron que construir un instrumento de 20 pies de largo para facilitar las mediciones.

Más tarde, en 1748, Ulloa describió en su "*Relación Histórica del Viaje a la América meridional...*" muchas de las dificultades y sufrimientos que tuvieron que soportar:

"Nuestra común residencia era dentro de la choza, así porque el exceso del frío y la violencia de los vientos, no permitían otra cosa, cuando porque de continuo estábamos envueltos en una nube tan espesa que no dejaba libertad a la vista....cuando se elevaban las nubes, todo era respirar su mayor densidad, experimentar una continua lluvia de gruesos copos de nieve o granizo, sufrir la violencia de los vientos y con ésta, vivir en continuo sobresalto, o de que arrancaran nuestra habitación y dieran con ella y con nosotros en el tan inmediato precipicio, o de que la carga de hielo y nieve, que se amontonaba en corto rato sobre ella, la venciese y nos dejase sepultados...y se aterrorizaba el ánimo con el estrépito causado por los peñascos, que se desquiciaban, y hacían con su precipitación, y caída no sólo estremecer todo aquél picacho, sino también llevar consigo a cuantos tocaba en el discurso de la carrera...".

Además de trabajar con los franceses en las mediciones, Jorge Juan y Ulloa tuvieron que interrumpir tres veces su tarea y recorrer el largo camino desde Quito a Guayaquil por orden del Virrey de Lima, para solucionar cuestiones relacionadas con la defensa marítima del Virreinato en sus costas y plazas, fortificándolas contra los ataques del almirante inglés Anson, y participar en la construcción de las fragatas *Belén* y *Rosa del Comercio*.

Su larga estancia estuvo también alterada con incidentes con el Presidente Araujo y Río por el retraso en sus pagas y en la entrega de los instrumentos, que desencadenó una larga polémica que procuró suavizar el Virrey Villagarcía. Pero la empresa mereció tales sacrificios. A partir de entonces, el conocimiento exacto de la forma de la Tierra permitió cartografiar con exactitud, situando correctamente longitudes y latitudes. Jorge Juan y Antonio de Ulloa fueron autores de cuarenta de las cien cartas modernas del mundo. Fue Jorge Juan quien obtuvo con mayor exactitud que la longitud de un grado de meridiano contiguo al Ecuador es 56767,788 toesas, lo que permitió adoptar el metro como unidad de medida, adoptar universalmente el sistema métrico decimal y concluir que la Tierra estaba achatada por los polos, al resultar mayor la longitud de un grado de meridiano en el Ecuador que en Laponia, lo que fue expresado por Jorge Juan así:

“Los grados de meridiano terrestre no siendo iguales, la Tierra no puede ser perfectamente esférica, y hallándose menores al paso que están más próximos al Polo, ha de ser perfectamente lata, esto es, el diámetro del Ecuador mayor que su eje”.

Finalmente, después de nueve durísimos años, decidieron regresar en navíos distintos, para tratar de asegurar que al menos uno de los duplicados de las notas y cálculos llegara a su destino. Embarcaron en el puerto de El Callao sobre las fragatas francesas *Liz* y *Deliberance*, el 22 de octubre de 1744. Jorge Juan llegó a Brest con la *Liz* el 31 de octubre de 1745. Desde allí se dirigió a París para cambiar impresiones sobre su obra y contrastar algunas particularidades que Godín y él mismo habían notado en sus observaciones astronómicas. En París conoció a los célebres astrónomos y matemáticos Marian, Clairaut y La Caille, autores de las fórmulas que tantas veces habían empleado, a Reaumur, inventor del termómetro, y a otros célebres académicos que, en compañía de La Condamine y Bourguer, reintegrados a sus actividades, le votaron como miembro correspondiente de la *Royal Academie des Sciences de Paris*.

Antonio de Ulloa tuvo más dificultades en su regreso, pues su fragata fue apresada por los ingleses que habían declarado la guerra a Francia durante la travesía. Ulloa tuvo que arrojar al agua la documentación comprometida y entregó a sus capturados la documentación referente a la medida del grado, a observaciones físicas y astronómicas y a noticias históricas, advirtiéndoles del interés de todas las naciones de Europa en esta empresa. Le llevaron preso cerca de Portsmouth, donde los comisarios se interesaron por sus papeles y los entregaron al Almirantazgo inglés. Allí el Duque de Bedford le concedió la libertad pronunciando la célebre frase de que *la guerra no debía ofender a las ciencias ni a las artes ni a sus profesores*.

Pasó a Londres, donde el Ministro de Estado, Conde de Harrington, que había sido embajador en España, le presentó a Martin Folkes, presidente de la *Royal Society*, quien había recibido desde el Almirantazgo la documentación capturada y ya había comprobado su valor científico. Folkes devolvió la documentación a Ulloa y, junto con el Conde de Stanhop, propuso a Antonio de Ulloa ser miembro de la *Royal Society*, por su participación en la medición de un grado de meridiano y por haber sido el primero en averiguar que la *platina* o platino¹⁵ es un mineral diferente de la plata y el oro.

¹⁵ Ulloa descubrió el platino al observar un residuo que no fundía cuando los indígenas obtenían plata. Los indígenas despreciaban ese mineral no fundido y le llamaban platina o plata sin valor. Otros dos minerales fueron descubiertos por españoles, el tungsteno, llamado también vanadio y el wolframio. El

El recibimiento en Madrid fue completamente diferente del de las capitales francesa y británica. Felipe V había muerto y Jorge Juan y Antonio de Ulloa fueron recibidos con absoluta indiferencia en el despacho del Ministerio de Marina y en la Secretaría de Estado. Jorge Juan estuvo tentado de pedir destino en su Orden de Malta, pero Pizarro, general de la Armada, les presentó al Marqués de la Ensenada, quien apreció su valía y vio en ellos a las personas ideales para desarrollar su política naval y de armamento. A partir de entonces se inicia una etapa de trabajo fecunda y una relación de amistad con el Marqués que duraría toda la vida, permaneciendo inalterable después de la caída del Marqués.

Fernando VI aceptó de buen grado la elección del Marqués de la Ensenada y nombró a Jorge Juan y a Ulloa capitanes de fragata, interesándose por el informe *Memorias secretas*, donde se describe el estado político del Virreinato del Perú. Por otra parte el Marqués de la Ensenada decidió publicar las *Observaciones Astronómicas y Físicas* y los cuatro volúmenes de la *Relación Histórica* (la primera edición de 1748 fue de 900 ejemplares). Este libro salió tres años antes que la publicación francesa de La Condamine, que apareció en 1751).

Las *Observaciones Astronómicas y Físicas* de Jorge Juan suscitaron ciertos reparos, al aceptar como evidente el sistema de Copérnico, que aún suscitaba rechazos. Jorge Juan encontró el apoyo del sacerdote jesuita Burriel, quien para evitar la censura sugirió que en la segunda edición (1773) figurase un preámbulo de Jorge Juan titulado *Estado de la Astronomía en Europa*.

En marzo de 1749, el Marqués de la Ensenada envió a Jorge Juan a Londres con varias misiones secretas y con el nombre de Mr. Josues. El Marqués de la Ensenada necesitaba información sobre la construcción naval inglesa y traer a España expertos constructores de barcos, velas y cordajes para sus planes de reforma de la Armada.

Jorge Juan cumplió con creces todo lo encomendado, pues, además de llevarse a España 50 técnicos navales, recogió información acerca de la fabricación de los finos paños ingleses, del lacre, de matrices de imprenta, de máquinas para limpiar puertos, de armamentos, de blanqueo de la cera, de la bomba de vapor para sacar agua, y de todo lo que en los planes de Ensenada suponía reorganizar la economía y poner a España al nivel de los mejores países de Europa. También se interesó por la compra de instrumentos de cirugía para la Academia de Guardia Marinas de Cádiz.

Este espionaje industrial no impidió que Jorge Juan fuese nombrado el 6 de abril de 1749 miembro de la *Royal Society* de Londres¹⁶, al igual que antes había sido nombrado Ulloa. Pero dieciocho meses después tuvo que escapar a la costa francesa disfrazado de marinero. Esta actividad de Jorge Juan, tan alejada de su personalidad de sabio erudito, nos prueba su increíble capacidad de adaptación al trabajo y su interés de ser útil a los intereses de España, como han reconocido sus biógrafos al señalar que

tungsteno lo descubrieron en España en 1783 los hermanos Juan José y Fausto Elhúyar y Zubice. El vanadio fue descubierto por el mineralogista mejicano Andrés Manuel del Río, en Zimapan en 1801, en un mineral de plomo.

¹⁶ Ya se comentó que Alejandro Ulloa también fue nombrado miembro de la *Royal Society*, poco después de su captura por los británicos en el viaje de regreso de Ecuador.

Jorge Juan nunca buscó su gloria personal y que siempre ofreció sus conocimientos para trabajar en proyectos de interés común.

También 1749 es la fecha en la que se publicó la *Disertación Histórica y Geográfica sobre el Meridiano de Demarcación entre los dominios de España y Portugal*, de Antonio de Ulloa y Jorge Juan, donde, como consecuencia de los conocimientos adquiridos en su viaje a América, se resolvió científicamente la determinación del meridiano que pasase a 370 leguas al oeste de las islas de Cabo Verde, que era la frontera que había fijado el Papa Alejandro VI como línea de separación entre los descubrimientos de España y Portugal¹⁷.

El Rey ascendió a capitán de navío a Jorge Juan y a partir de 1750 su carrera fue en continuo ascenso, pues el Marqués de la Ensenada pensaba que la fuerza de una nación dependía de tener buenos navíos y de dominar el transporte marítimo y la defensa naval. Muchos recursos de España se centraron en la modernización del sector naval, según un nuevo plan ideado por Jorge Juan que mejoraba el sistema de construcción naval inglés, fue aprobado por el Rey en 1752 y se implantó de modo general. En los astilleros de Cartagena, Ferrol, Cádiz y La Habana se organizaron arsenales, construyendo diques en los dos primeros. Se contrataron a los constructores Bryant y Tournel y se trabajó con un moderno criterio industrial de división del trabajo. Miles de obreros se repartieron en los diques, astilleros, hornos, fábricas de jarcia y de lonas y así se construyeron navíos como el *Aquilón* y el *Oriente*.

En 1752 el Rey nombró a Jorge Juan director de la Academia de Guardias Marinas de Cádiz, cargo de mucha responsabilidad, donde Jorge Juan implantó las enseñanzas más avanzadas de la época, contratando a profesores competentes y relegando a quienes no consideraba capacitados. Jorge Juan pensó que los cadetes debían tener una sólida formación que les capacitase para dirigir un barco, lo que exigía una excelente preparación matemática. Fundó el Observatorio Astronómico de Cádiz, dotándolo con los mejores aparatos de la época y manteniendo correspondencia de sus observaciones con las Academias de París, Berlín y Londres.

En Cádiz tuvo ocasión y tiempo para hacer nuevos estudios y utilizar modelos matemáticos para construir navíos ligeros y veloces, sin menoscabo de su seguridad y resistencia. Su idea central sobre la construcción naval la expresó escribiendo que "*el navío se ha de construir con la menor cantidad de madera y herraje posible, pero ha de tener toda la madera y herrajes necesarios para mantenerse firme.*" Así mismo estudió la fuerza del mar y del viento en diferentes modelos de naves, utilizando cometas para valorar la acción del viento sobre las velas. Sus estudios y fama trascendieron nuestras fronteras¹⁸. El Conde de Stanhop le llamó *el Sabio Español* en la dedicatoria de su edición de los *Elementos de Euclides*.

La actividad de Jorge Juan en este período fue continua. Además de supervisar la construcción de los diques y organizar los arsenales, hizo más de treinta viajes por la geografía española resolviendo problemas muy diversos, como ocuparse de la tala de

¹⁷ Jorge Juan y Ulloa calcularon que esa línea es el meridiano situado a 46° 37' longitud oeste. Desde el Tratado de Tordesillas (7 de junio de 1494) hasta esta publicación de Ulloa y Jorge Juan, España y Portugal habían estado negociando la situación exacta de dicho meridiano

¹⁸ En 1753, Jorge Juan fue visitado por el almirante Howe, quien quedó sorprendido de la velocidad, maniobrabilidad y buen gobierno de sus nuevos navíos.

árboles para la construcción de las naves, resolver problemas en las minas de Almadén y Linares, en los canales de riego de Murcia y Aragón, en la fábrica de cañones de Santander. Es casi inexplicable que aún sacase tiempo para sentar las bases de una cartografía moderna.

En junio de 1754 el Rey le nombró Ministro de la Junta General de Comercio y Moneda, con el encargo de resolver diversos problemas en la fabricación de monedas. Entonces desde Alicante se le pidió a Jorge Juan su intercesión para crear una cátedra de Matemáticas, pero no pudo ayudar a sus paisanos, pues ese mismo verano, derrotado por la intriga, cayó el Marqués de La Ensenada que había sido el protector de Jorge Juan. El Marqués fue desterrado a Granada, se le quitaron todos sus cargos y se le mantuvo vigilado y con prohibición de recibir visitas. Una vez más Jorge Juan demostró su gran hombría de bien y viajó desde Cartagena a Granada para ofrecer al Marqués su corta hacienda. Idéntico ofrecimiento le hizo Antonio de Ulloa, sin que hubiese mediado ningún acuerdo entre ellos.

En 1755, Jorge Juan fundó en Cádiz la *Asamblea Amistosa Literaria*, que reunía los jueves en su casa a los eruditos Luis Godín, José Aranda, Gerardo Henay, Diego Porcel, José Infante, Francisco Canibell, José Nájera, Francisco Iglesias, Pedro Virgili, y José Carbonell, entre otros. Jorge Juan deseaba que la Asamblea fuese el embrión de una futura Academia de Ciencias. Las disertaciones sobre astronomía, artillería, navegación y construcción, le sugirieron a Jorge Juan la idea de escribir su gran obra *Examen Marítimo* en la que trabajó catorce años y se convirtió en piedra angular de la teoría de la construcción naval. Se publicó en Madrid en 1771 en dos volúmenes. El primero sobre mecánica naval es muy matemático y el segundo sobre construcción naval y maniobras navales. Jorge Juan analizó la dinámica del buque, su estabilidad en relación con el empuje de las olas y los esfuerzos a que está sometida la arboladura.

Con gran rapidez se hicieron diversas traducciones del *Examen Marítimo* y se difundió a toda Europa. El Instituto de España lo reeditó en 1968 con prólogo del prestigioso almirante Don Juan García-Frías García¹⁹ que contiene importantes observaciones sobre la obra de Jorge Juan. El almirante García-Frías destacó que la fórmula de la resistencia del agua al avance de un buque dada por Newton, Mariotte y Bouguer fue mejorada por Jorge Juan, siendo bien conocido que determinar la fuerza que produce un fluido sobre un obstáculo que se mueve en él ha sido uno de los problemas básicos de la mecánica de fluidos.

Pero, desgraciadamente, después de la caída de Ensenada se sustituyó en España el modelo de construcción propuesto por Jorge Juan por el modelo francés, con el natural regocijo de los ingleses que vieron con tranquilidad como los planes de recuperación naval de España quedaban estancados. La decisión se tomó por cuestiones políticas y el encargado de desplazar los planes de Jorge Juan fue Julián de Arriaga, también miembro de la Orden de Malta que ocupó la Secretaría de Marina durante veinte años. Jorge Juan poco antes de morir, con la autoridad e independencia de criterio que le caracterizaban, escribió una dura carta al rey Carlos III por su subordinación ciega al modelo francés y vaticinó grandes derrotas. En efecto, treinta y dos años

¹⁹ García-Frías fue académico numerario de la Real Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales de Madrid desde 1967 hasta su fallecimiento en 1996, ocupando la medalla número 24 correspondiente a Ciencias Exactas. Tuvo el honor de sustituirle en 1998.

después los ligeros navíos ingleses, en línea con los estudios de Jorge Juan, dieron al traste con la pesada y vetusta flota hispano francesa en Trafalgar.

Jorge Juan publicó en 1757 su *Compendio de Navegación para el uso de los Caballeros Guardia Marinas*, un elegante ejemplar que imprimió en la misma prensa de la Academia. Los conocimientos de Jorge Juan sobre tipografía, tintas y papeles le permitieron obtener bellas y excelentes obras de texto. En 1760, después de ser nombrado Jefe de Escuadra, tuvo unos fuertes cólicos biliares que le obligaron a buscar tiempo para reponerse en el balneario de Busot, su Alicante natal.

En septiembre de 1766, Jorge Juan terminó su labor en la Academia de Guardias Marinas de Cádiz y preparó su regreso a Madrid, pero entonces el rey Carlos III le nombró Embajador Extraordinario en la Corte de Marruecos para una difícil misión política. Una vez más se le señaló como la persona ideal en otra difícil misión por la confianza en nuestro sabio humanista, que durante tres reinados fue un servidor indispensable para España. Salió el 15 de febrero de 1767 en compañía de Sidi-Hamet-el-Garcel, embajador de Marruecos, con regalos para el soberano marroquí y con unas instrucciones concretas acerca de su misión. Tras más de seis meses de actividad diplomática regresó con un Tratado que aseguraba muchas de las aspiraciones españolas.

Aunque este período marroquí afectó a su salud, a su regreso a Madrid se dedicó al estudio de asuntos solicitados por las Secretarías de Estado y del Consejo de Castilla, pues siempre se requería su opinión en el estudio y en la ejecución de las cuestiones más arduas por ser considerado infalible. En junio de 1768 tuvo que buscar otra vez alivio para los cólicos biliares, ahora en las aguas y baños de Trillo.

De esta etapa es también la brillante iniciativa de Jorge Juan, llena de visión de futuro, de establecer un observatorio astronómico en Madrid. Expuso a Carlos III un proyecto para establecer un centro dedicado al estudio de la geografía astronómica. Para tal efecto, el monarca encargó a Juan de Villanueva la construcción de un edificio sobre el llamado cerro de San Blas, en la parte baja del Retiro²⁰.

²⁰ El edificio principal comenzó a construirse en 1790 y se encargó al astrónomo W. Herschel la construcción de un telescopio reflector de 60 cm de diámetro. Dada la carencia de una tradición astronómica en el país, los primeros astrónomos del Observatorio iniciaron su aprendizaje en diversos países europeos. En sus comienzos, las actividades desarrolladas en el Observatorio cubrían todos los campos de la Astronomía y ciencias afines: desde la física solar y estelar a la mecánica celeste, el desarrollo de instrumentación, conservación oficial de la Hora y las aplicaciones en Geodesia. El Observatorio fue incluso encargado de realizar trabajos de Meteorología (considerados entonces como un complemento de los estudios astronómicos). Sin embargo, este empuje inicial termina con la guerra contra Francia, que supone la dispersión del personal y la destrucción de equipos, biblioteca y edificaciones provisionales.

Las actividades en el Observatorio se reanudaron en 1845, y el edificio se completó al año siguiente. En 1854 se instaló el círculo meridiano de Repsold y en 1858 el antejo ecuatorial Mertz, iniciándose una etapa de trabajos astronómicos, geodésicos y meteorológicos. Primero el Observatorio dependió directamente del rey a través de un comisario regio y, posteriormente, del rector de la Universidad Complutense. En marzo de 1904 el Observatorio fue agregado al ahora llamado Instituto Geográfico Nacional. A partir de ese momento, el Observatorio concentró sus esfuerzos en la investigación astronómica y en el desarrollo de instrumentación asociada.

Tras la reducción de personal y medios por la guerra civil, el Observatorio conoció una nueva etapa de modernización y expansión en la década de 1970. Es entonces cuando se creó el Centro Astronómico de Yebes, en la provincia de Guadalajara, y la Estación de Observación de Calar Alto, en Almería, en la que se instaló un telescopio óptico de 1,52 m de apertura. Con ello se potenciaron las líneas más tradicionales

En 1770 ocupó su último puesto de servicio al ser nombrado Director del Real Seminario de Nobles, que estaba en franca decadencia con sólo trece alumnos. El que la salud ya le fallase seriamente no impidió cambiar los planes de estudios, completar las Ordenanzas, aumentar el número de profesores conforme a las necesidades y exigir a todos un mayor cumplimiento, con su siempre prudente y sabia dirección, apoyada en la autoridad moral que le acompañaba y en su capacidad de organización y trabajo. Murió el 21 de junio de 1773 y dejó el Real Seminario de Nobles con 82 alumnos. Seis años más tarde, Benito Bails, ilustre discípulo suyo, le describió así:

“Don Jorge Juan, era de estatura y corpulencia medianas, de semblante agradable y apacible, aseado sin afectación de su persona y casa, parco en el comer, y por decirlo en menos palabras, sus costumbres fueron las de un filósofo cristiano. Cuando se le hacía una pregunta facultativa, parecía en su ademán que él era quien buscaba la instrucción. Si se le pedía informe sobre algún asunto, primero se enteraba, después meditaba, y últimamente respondía. De la madurez con que daba su parecer, provenía su constancia en sostenerlo. No apreciaba a los hombres por la provincia de donde eran naturales; era el valedor, casi el agente, de todo hombre útil.”

El Consejo Superior de Investigaciones Científicas dio el nombre de Jorge Juan su primer Instituto de Investigación Matemática.

4.- AGUSTÍN DE BETHENCOURT Y MOLINA.



Agustín de Bethencourt y Molina nació en Puerto de la Cruz (Tenerife) en 1758 y fue uno de los ingenieros más prestigiosos de Europa. Era hijo de Agustín de Bethencourt y Castro, asiduo participante en la Tertulia de Nava y miembro fundador de la Sociedad Económica de La Laguna.

En esa recién creada Sociedad presentó Agustín de Bethencourt en 1778 su primer diseño, consistente en una máquina epicilíndrica para entorchar seda, realizada en colaboración con sus hermanos José de Bethencourt y Castro y María de Bethencourt y Molina, de la que parece había surgido la idea de la máquina epicilíndrica. Poco después María de Bethencourt presentó en la Sociedad Económica de la Laguna una *Memoria de sobre la forma de obtener el color carmesí*, que es probablemente la primera memoria científica firmada por una mujer en Canarias.

de la astronomía óptica que venían llevándose a cabo en el Observatorio de Madrid (Astrometría, Heliofísica, Física estelar). También se inicia entonces una nueva línea de investigación y desarrollo instrumental, la Radioastronomía, que se ha reforzado en las últimas décadas con la participación del Observatorio en el Instituto hispano-franco-alemán de Radioastronomía Milimétrica (IRAM).

En ese mismo año 1778, Agustín de Bethencourt abandonó las islas y se fue a estudiar a los Reales Estudios de San Isidro en Madrid. Al igual que otros ilustres canarios, como Clavijo y Fajardo, ya no regresó a las islas.

Recién terminados sus estudios, Agustín de Bethencourt recibió en 1783 los primeros encargos de trabajos para la Corona. Fueron la inspección del Canal Imperial de Aragón y el estudio de las minas de Almadén, sobre cuyo estado redactó tres detalladas memorias.

También en 1783 elevó por primera vez en España un Globo Aerostático ante la Corte Real.

En 1784 viajó a París para completar estudios en la Escuela de Puentes y Caminos y a partir de 1785 llevó a cabo numerosas investigaciones técnicas, entre las que destaca la *Memoria sobre la purificación del carbón piedra* y diversos estudios sobre hidráulica y mecánica. También dedicó parte de su tiempo a diseñar y adquirir máquinas por encargo del Conde de Floridablanca, con vistas a la futura creación en Madrid de un Gabinete de Máquinas.

En el otoño de 1788 realizó su primer viaje a Inglaterra, donde permaneció dos meses observando máquinas. Compartió la investigación científica y el espionaje industrial. Entre otros lugares, visitó la empresa de Mathew Boulton y James Watt, quienes en 1782 habían patentado la máquina de doble efecto, pero no consiguió ver la nueva máquina perfeccionada en que estaban trabajando. Sin embargo, en Londres observó una máquina de doble efecto funcionando en una fábrica de harinas y un nuevo modelo de telar mecánico, diseñado por Edmund Cartwright.

Regresó a París en 1789, donde escribió para la Academia de Ciencias de París la Memoria titulada *Máquina de vapor de doble efecto* y, al mismo tiempo, diseñó una bomba que se instaló en la recién construida fábrica de harinas de los hermanos Perier.

Poco después, diseñó un modelo de telar mecánico y ese mismo año 1789 construyó una máquina eólica para desaguar terrenos pantanosos. Esta máquina y el telar los incorporó a la colección de máquinas encargada por Floridablanca con destino al futuro Gabinete de Máquinas de Madrid. También se encargó del diseño o la adquisición de los instrumentos para la expedición de Malaspina²¹.

²¹ El marino italiano Alejandro Malaspina fue un marino español de origen italiano, que nació en Mulazzo en 1754 y murió en Pontremoli en 1809. En 1773 ingresó en la Orden de Malta y en 1774 ingresó en la Marina Real española.

En septiembre de 1788, junto con su colega José de Bustamante y Guerra, propuso al gobierno español organizar una expedición político-científica con el fin de visitar casi todas las posesiones españolas en América y Asia con el propósito de aumentar el conocimiento de la flora, de la fauna y de los pueblos que habitan las colonias hispanas. Este viaje se conoce como expedición Malaspina. La expedición zarpó de Cádiz el 30 de julio de 1789 en dos naves, la *Descubierta* y la *Atrevida*, con más de 200 hombres embarcados. Junto a los marineros profesionales se embarcaron pintores y naturalistas. Durante el viaje recorrieron el Río de la Plata, las costas de Patagonia, las Islas Malvinas, la Isla de Guam, las Filipinas y la Polinesia. A su regreso, el 21 de septiembre de 1794, la expedición trajo la descripción de 14.000 especies botánicas nuevas, 900 ilustraciones y el estudio de 500 especies zoológicas de tres continentes. La exploración de Malaspina es perfectamente comparable a las exploraciones de James Cook o Bougainville; pero su éxito fue injustamente apagado por las intrigas de Manuel de Godoy, el hombre más influyente en la corte de Carlos IV, quien, celoso de que el prestigio de Malaspina pudiese amenazar su

En 1790 presentó a la Academia de Ciencias de París la *Memoria sobre la fuerza expansiva del vapor de agua*. De ese año es una carta de Watt a Boulton aconsejándole desconfiar de los visitantes extranjeros, manifestación de que Watt presentía el espionaje industrial a que estaba sometido.

El año siguiente, 1791, escribió su estudio sobre la manera de fundir y barrenar cañones de hierro, titulado *Descripción del Real establecimiento de Yndrid donde se funden y barrenan los cañones de hierro para la Marina Real Francesa*, en el que propone diversas mejoras a los métodos tradicionales empleados. También de ese año es su *Memoria sobre la draga mecánica*, cuya construcción intentó sin éxito llevar a cabo en España, y que construyó finalmente en Kronstadt trece años más tarde.

Por el cariz revolucionario que empezó a tomar la situación en Francia, decidió regresar a Madrid con la colección de máquinas y diseños para el Real Gabinete de Máquinas, que se inauguró en 1792 y fue nombrado su director. El primer Catálogo de modelos, planos y manuscritos del Gabinete de Máquinas incluía 270 máquinas, 358 planos y más de 100 memorias con 92 gráficos, todos los cuales los había recogido o diseñado durante su estancia en París, en colaboración con Juan López Peñalver²².

En 1793 viajó a Inglaterra donde permaneció tres años investigando sobre teorías de las máquinas y dónde presentó en 1795 el diseño de una máquina de cortar hierba en ríos y canales.

En 1796, ante la ruptura de relaciones entre España e Inglaterra como consecuencia de la firma del Tratado de San Ildefonso entre Francia y España, volvió a París. Allí junto con Breguet, presentó al Directorio el prototipo y los planos de un telégrafo óptico en la memoria *Sobre un nuevo telégrafo y algunas ideas sobre la lengua telegráfica*, en el que venían trabajando desde 1787. Esta presentación desató una fuerte polémica sobre las ventajas e inconvenientes del telégrafo de Breguet y Bethencourt, que se resolvió con el definitivo informe favorable de la Academia de Ciencias en 1796.

En 1797 patentó junto con Perier una prensa hidráulica para uso industrial y la incorporó al Gabinete de Máquinas. Esta prensa es muy parecida a otra inventada por Bramah que Bethencourt había visto en Inglaterra. De nuevo se hacía patente la

propio poder político, utilizó el informe político confidencial de Malaspina acerca de las instituciones coloniales españolas para convencer al Rey que ordenase la destitución y prisión de Malaspina. Ese informe, además de críticas a la situación de las colonias, proponía la concesión de una amplia autonomía a las colonias españolas americanas y del Pacífico dentro de una confederación de estados relacionados mediante el comercio. No llegó a cumplir la totalidad de la condena, pues a finales de 1802 fue puesto en libertad y deportado a Italia, gracias a las presiones de Napoleón, a instancias de Francesco Melzi d'Eril. Godoy consiguió que la poderosa e ilustrada expedición dirigida por fuese olvidada durante casi un siglo. El tiempo ha hecho justicia a Malaspina y hoy existen más de 600 publicaciones relacionadas con los aportes científicos y artísticos de su expedición.

²² Juan López Peñalver o López de Peñalver, fue un ingeniero, científico y economista que nació en Málaga en 1763 y murió en Madrid en 1835 tras ocupar diversos cargos en instituciones culturales y administrativas.

Destacó por su insistencia en tratar con criterio matemático todos los temas de su interés, incluidos los económicos, lo que era inusual en su época. Fue traductor de Euler y Montesquieu y autor, entre otros libros, de los siguientes títulos: *Memoria sobre los medios de facilitar el Comercio Interior* (1791), *Descripción de las Máquinas del Real Gabinete* (1798) y *Reflexiones sobre la variación del precio del Trigo* (1812).

increíble capacidad de Bethencourt de reproducir y mejorar cualquier máquina que viese, como antes ya había sucedido con la máquina de doble efecto y con el telar mecánico.

Ese mismo año regresó a España, donde fue nombrado Inspector General de Puertos y Caminos.

En 1802 consiguió que se creara la Escuela Oficial del Cuerpo de Ingenieros de Caminos, de la que fue su primer director.

En 1803 empezó a escribir con Lanz el *Ensayo sobre la composición de las máquinas*, que se publicaría en París en 1808 convirtiéndose en un libro de texto de gran difusión en toda Europa.

En 1807, Bethencourt fue nombrado académico correspondiente extranjero de la Academia de Ciencias de París en la misma sesión en que James Watt recibió el mismo honor.

Poco después abandonó definitivamente España, trasladándose a París donde presentó a la Academia de Ciencias su *Memoria sobre un nuevo sistema de navegación interior*, en la cual describió una esclusa de émbolo que había inventado en 1801, e inventó con Breguet el termómetro metálico.

A finales de 1807 viajó a San Petersburgo invitado por el zar Alejandro I y se instaló en Rusia hasta su muerte al servicio de Alejandro I. Sólo salió de Rusia seis meses después de su llegada, en que viajó a París para presentar con Lanz el *Ensayo sobre la composición de las máquinas*.

Nombrado mariscal del ejército ruso, quedó adscrito al Consejo Asesor del Departamento de Vías de Comunicación. Posteriormente fue nombrado Inspector del Instituto del Cuerpo de Ingenieros y, en 1819, Director del Departamento de Vías de Comunicación.

A lo largo de sus 16 años de su estancia en Rusia alternó la dirección académica del Instituto de Ingenieros con numerosas obras públicas, como el puente sobre el Nevka, la modernización de la fábrica de armas de Tula, la fábrica de cañones de Kazan, la draga de Kronstadt, los andamiajes para la Catedral de San Isaac, la Columna de Alejandro I, el canal Bethencourt de San Petersburgo, la feria de Nizhni Nóvgorod, la fábrica de papel moneda, el picadero de Moscú, la navegación a vapor en el Volga, varios sistemas de abastecimiento de aguas, distintas líneas de ferrocarriles, etc.

A partir de 1822 comenzó a tener problemas con el Zar y fue sustituido en la dirección del Instituto, quedando relegado hasta su muerte en 1824.

Sus restos reposan en San Petersburgo junto a los restos de Euler. Dejó escrito que era San Petersburgo el lugar donde deseaba que reposasen definitivamente sus restos.

Hubiese sido muy bueno que la obra de Bethencourt se hubiese desarrollado mayoritariamente en España. Entonces también sus restos estarían en estas maravillosas Islas Canarias, tan bien denominadas como Islas Afortunadas.

BIBLIOGRAFÍA

1. *Agustín de Bethencourt y Molina* (Varios autores) (2007), Real Academia de Ingeniería. Madrid.
2. Arnold, Vladimir I. and Vasilev, V.A. (1989), *Newton's "Principia" read 300 years later*, Notices Amer. Math. Soc. **36** (9), pp. 1148 – 1154.
3. Boyer, Carl B. (1986), *Historia de la Matemática*. Alianza Editorial S.A.
4. Bourbaki, Nicolas (1976), *Elementos de la Historia de las Matemáticas*. Alianza Universidad.
5. Dieudonné, Jean (1989). *En honor del espíritu humano. Las matemáticas hoy*. Alianza Editorial.
6. Dunham, William (2000), Euler el maestro de todos los matemáticos, nivela.
7. Faus Prieto, Alfredo (1990), *Teoría y práctica cartográfica en la Valencia preilustrada (1681 – 1744). Las obras de Vicente del Olmo y Antonio Bordázar de Artazo*. Cuaderno de Geografía **48**, pp. 183 – 202.
8. F. Le Lionnais, François (1962) *Las grandes corrientes del pensamiento matemático*, Eudeba.
9. León, Manuel de (1998), *Mirando hacia atrás*. Gaceta de la Real Sociedad Matemática Española **1**, pp. 129 – 134.
10. López Pellicer, Manuel (2002), *La estructura racional del pensamiento matemático*, capítulo 2 del libro “2000 Año mundial de las Matemáticas”. Real Academia de Ciencias Exactas Físicas y Naturales. Serie Horizontes Culturales. Las Fronteras de la Ciencia (ISBN 84-670-0137-2). Editorial Espasa Calpe, pp. 35 – 56.
11. López Pellicer, Manuel (2003), *Matemáticas y ordenadores en el conocimiento del mundo*. Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat., Esp. **97**(2), pp.397 – 424.
12. López Pellicer, Manuel (2003), *Vida de los Trece Libros de Euclides*. Sesión conmemorativa de la fundación del Instituto de España (10 de abril de 2003). Instituto de España (Madrid).
13. López Pellicer, Manuel, *La Ilustración en el pensamiento matemático*. Rev. R. Acad. Cienc. Exact. Fis. Nat., Esp. **101**(1), (2007) 1 – 20.
14. Maravall, Darío (1961), *Filosofía de las matemáticas*. Dossat.
15. Marco Cuellar, Roberto (1965), *El “Compendio Matemático” del Padre Tosca y la introducción de la ciencia moderna en España*. II Congreso Español de Historia de la Medicina (Salamanca), **I**, pp. 325 – 358.
16. Peset Llorca, Vicente (1964), *La Universidad de Valencia y la renovación científica española (1687 – 1727)*. Asclepio **16**, pp. 214 – 231.
17. Russell, Bertrand and Whitehead, Alfred North (1925), *Principia Matemática*. Cambridge University Press.
18. Torroja, José María (1973), *La obra científica de Jorge Juan*. Revista Matemática Hispano-Americana, **volumen especial**, pp. 9 – 24.