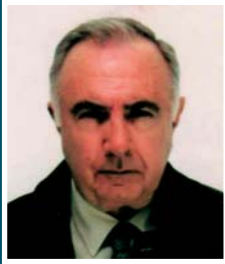


5

LA MARINA ESPAÑOLA Y LA
CIENCIA CARTOGRÁFICA

Dr. Alfredo Surroca Carrascosa

Físico e Investigador



Dr. Alfredo Surroca Carrascosa

Físico e Investigador

Licenciado en Ciencias Físicas por la Universidad Complutense de Madrid
Ha desarrollado su actividad profesional en el campo de la física del estado sólido y de la telecomunicaciones en Francia, Italia, España, USA y Japón

Principales funciones ejercidas anteriormente:

Director Telettra Española SA
Director de Amper SA
Director de Fujitsu España SA.
Asesor de Naciones Unidas para el desarrollo de las telecomunicaciones en Centroamérica

En la actualidad ejerce principalmente las siguientes funciones:

Presidente de la Comisión de Cultura de la Real Liga Naval Española.
Miembro numerario de la Real Sociedad Geográfica
Miembro numerario de la Real Sociedad Española de Física
Miembro numerario de la Real Academia Española de la Mar
Vicedelegado en Madrid de la Real Asamblea de Capitanes de Yate
Abogado en ejercicio y miembro del Ilustre Colegio de Abogados de Madrid

5 • LA MARINA ESPAÑOLA Y LA CIENCIA CARTOGRÁFICA

Dr. Alfredo Surroca Carrascosa

Físico e Investigador

El presente trabajo trata de presentar una relación, manifiestamente incompleta, de destacadas aportaciones de los marinos españoles, militares o mercantes, a la ciencia de la cartografía. Sólo pretende señalar algunas señaladas contribuciones españolas a la cartografía en tanto que ciencia vinculada con la astronomía y las matemáticas. No se indican, por esta razón, otros hechos que, aun siendo meritorios y dignos de elogio, no están relacionados directamente con la vertiente científica.

AL IDRISI

Sin ser propiamente marino, la aportación de Al Idrisi a la cartografía es de tal magnitud que resulta obligado hacer una referencia a su obra. Tras la importante aportación griega a la cartografía representada por Ptolomeo e Hiparco, la de Idrisi es la primera y más sólida contribución española a la cartografía. Su obra, más que un instrumento para la navegación, constituyó más bien un documento donde se reflejaba la ciencia griega y demostraba el poder del Rey y la extensión de sus dominios. Tuvo el extraordinario mérito de anticiparse 400 años a la eclosión ptolemaica en Occidente y 200 años a los más desarrollados mapas planos portulanos de la Edad Media.

DE LOS BEATOS A LOS PORTULANOS

Es muy difícil precisar cuándo y de qué forma se produjo la transición de los mapa-mundi que ilustran los llamados Beatos a las cartas portulanas también llamadas, de compás o loxodrómicas. Es muy probable que antes de estas, aparecieran las primeras cartas marinas que en con-

traposición con ellas, tenían el afán de representar lo más fielmente la realidad física. Consistirían pues en meras cartas de cabotaje o derroteros. De estas cartas se pasó a las portulanas con cierta brusquedad: tan pronto como se generalizó en la navegación el uso de la brújula y en particular la brújula con aguja pivotante¹.



Portulano de Abraham Cresques 1375

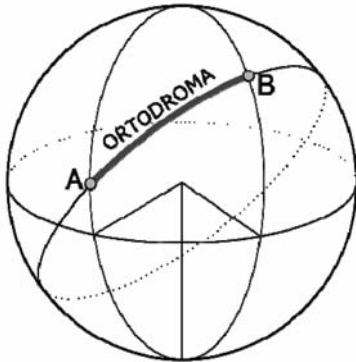
La más antigua carta portulana que se conserva es la llamada Carta Pisana de 1300, pero sin duda existieron portulanos anteriores de los que no se tiene noticia.

Puede afirmarse que los portulanos satisfacían aceptablemente los intereses de los navegantes del Mediterráneo y zonas costeras de África occidental. Con el transcurso del tiempo fueron perfeccionándose, junto con la brújula, otros instrumentos de navegación como los astrolabios, la corredera y la ampolleta, lo que permitió conocer con aceptable fidelidad la distancia entre puertos y accidentes costeros, así como la trayectoria que debía seguir la nave.

(1) En el siglo XII se construían agujas que pivotaban y se tocaban con la piedra. También se ponía la aguja en una paja que, de esa forma, flotaba en el agua. Hay que decir en relación con el toque de la aguja que desde muy antiguo se observó que si una aguja de hierro se frotaba repetidamente sobre la magnetita y siempre en la misma dirección la aguja adquiría las propiedades de la magnetita aunque sólo temporalmente. Con el paso del tiempo era necesario proceder nuevamente al toque. En el S XIII el uso de agujas de flotación era común.

El problema de determinar la posición del barco en un momento dado, lo que se llamaba *echar el punto*, se resolvía parcialmente con el cálculo de la latitud mediante la observación de la altura de la estrella Polar. Pero no se conocía la forma de determinar la longitud. Era necesario, pues, acudir al método de la estima sobre la carta, utilizando los pocos fiables datos del tiempo de navegación calculado mediante la ampollita, la velocidad mediante la corredera y el rumbo mediante la brújula. El astrolabio, en el S.VIII, ya era ampliamente conocido en el mundo islámico. A Europa llega en el S.XII través de la España musulmana. Los astrolabios originales requerían una placa de coordenadas de horizonte distinta para cada latitud, pero en el S. XI, el astrónomo andalusí Azarquiel aportó una importante modificación introduciendo una placa única que servía para todas las latitudes.

La observación de la altura de la estrella Polar era prácticamente imposible en las navegaciones que realizaban los navegantes portugueses cerca del ecuador y en el Hemisferio Sur, por esta razón, en las cartas por ellos utilizadas suele aparecer una tabla de alturas meridianas del Sol.



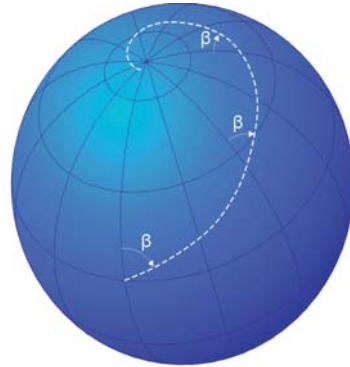
Ruta de distancia mínima

Las cartas portulanas son ajenas al actual concepto de proyección geométrica o funcional e ignoran el carácter esférico de la Tierra por lo que, en puridad, debieran clasificarse como cartas planas. En ellas subyace la identificación de rumbo constante con rumbo a la vía, lo que puede justificar la errónea y común creencia, en aquella época, de que el rumbo constante marcaba una trayectoria coincidente con un círculo máximo de la esfera terrestre.

Fue Pedro Núñez, cosmógrafo real de origen portugués, el que introdujo por primera vez el concepto de rumbo, actualmente conocido como rumbo loxodrómico, mostrando que el camino seguido con ángulo constante respecto de la meridiana, conducía a una trayectoria sobre la esfera que no era coincidente con un círculo máximo, sino que era una curva espiriforme que finalizaba asintóticamente en el Polo. Este descubrimiento es considerado como uno de los de mayor relevancia en la ciencia cartográfica

Las cartas portulanas no se limitaban a representar el mar Mediterráneo. Así sucede con la carta de Vallseca que cubre parte importante del océano Atlántico o la carta de Juan de la Cosa que alcanza el nuevo mundo.

La aportación de la marina mercante y la marina de guerra, principalmente las de Aragón² al desarrollo de la cartografía portulana es de primer orden. La precisión de los rumbos constantes entre puertos y las distancia entre ellos, tuvo que ser necesariamente fruto de una permanente y precisa transferencia de datos que, obtenidos por la marina española, eran trasladados a los cartógrafos asentados en Baleares y Sicilia (Messina).



Ruta de rumbo constante. Loxodrómica

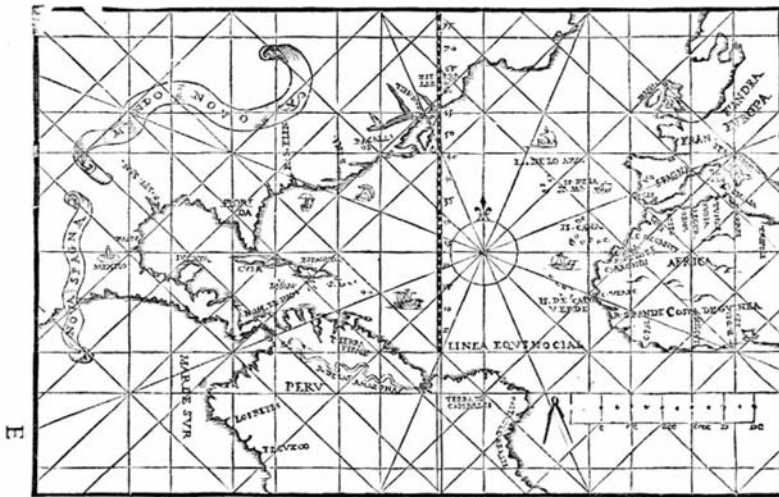
La única diferencia sistemática que presentaban los portulanos con los actuales mapas del Mediterráneo se circunscribe, en la práctica, a su dimensión Este-Oeste, que no alcanzó sobre el mapa el valor real de $41^{\circ} 25'$ hasta que el cartógrafo Delisle lo representó en 1725.

Aunque, tras el descubrimiento de América, los marinos sintieron la necesidad de disponer de cartas que, principalmente, corrigieran el menor valor del grado conforme aumentaba la latitud, lo cierto es que, de hecho, su uso se extendió hasta entrado el S. XVIII, cuando Louis Renard publicó su carta de 1715, muchos años después de la aparición de las cartas esféricas. Puede admitirse, sin embargo, que la última carta portulana que comprendía el nuevo mundo fue la de Juan de la Cosa de 1500

DE LOS PORTULANOS A LAS CARTAS PLANAS

Paralelamente a la inclusión de elementos ptolemáicos en los portulanos, se desarrolló otro tipo de cartas, las llamadas cartas planas, que incorporaron las ideas de Ptolomeo relativas a longitudes y latitudes pero no así las de proyección geométrica. En estas cartas, los haces de paralelos y meridianos se representan en forma de rectas igualmente espaciadas que se cruzan perpendicularmente. No se tiene en cuenta, pues, que el valor del grado en los paralelos disminuye conforme aumenta la latitud.

(2) Hasta el año 1137, Aragón no desarrolló su marina. La marina de la Corona de Aragón, estaba constituida principalmente por naves catalanas, una marina de ámbito mediterráneo que prefería como buque de combate la galera. La marina de guerra no existía en el sentido que la entendemos hoy, esto es, formada por barcos pertenecientes al Estado y especialmente hechos para la guerra. Cuando eran requeridos por el rey para la guerra, cambiaban las cargas comerciales por cargas militares, y sus armadores y tripulantes pasaban a ser pagados por la corona.



Mapa mundi de Pedro de Medina

Las cartas planas, como sucede con las portulanas, no incluyen ningún elemento en su construcción que tenga presente el carácter esférico de la Tierra. En realidad, deberían llamarse cartas planas propiamente dichas, para distinguirlas de los portulanos que también son cartas planas.

La navegación más allá del mar Mediterráneo impulsó el uso de cartas planas pero estas tenían el problema de distorsionar la realidad física conforme aumentaba la latitud, como sucede en las planas portulanas, sólo que en este caso, dada la poca diferencia de latitud en el Mar Mediterráneo la distorsión era de menor entidad.

A partir del descubrimiento de América, cada geógrafo primero y cada país después, decidieron situar el meridiano origen de longitudes en distintos lugares geográficos según su interés o conveniencia. En 1573, Felipe II ordenó que las longitudes fueran medidas a partir del meridiano que pasaba por Toledo, entonces capital del imperio español, pero con una singularidad: en vez de medir las longitudes hacia el Este como se había hecho hasta entonces partiendo de las Islas Canarias, las longitudes se medirían hacia el Oeste, *porque procediendo de esta manera es más natural y conforme con el descubrimiento de las Indias que Dios tuvo a bien concedernos.*

Destacamos como cartas planas: el Islario General de Santa Cruz de 1545 y los planisferios de Castiglione y Salvatti de 1525 donde se

representa, completamente y por primera vez, el océano Pacífico y se corrige el giro de 8° a 10° en sentido horario con que se representaba sistemáticamente el mar Mediterráneo.

Es también carta plana portulana la de Juan de la Cosa de 1500, que sirvió a Américo Vespucio como documento de partida para el desarrollo del Padrón Real, y el mapamundi de Pedro de Medina de 1539.

Lo cierto es que, a pesar de los inconvenientes señalados, el uso de las cartas planas resolvió en gran medida los problemas de la navegación en las costas occidentales de África y muy principalmente en la navegación atlántica de América, pero no es menos cierto que las graves imperfecciones señaladas determinaron que su vida fuera más bien efímera.

DE LAS CARTAS PLANAS A LAS CARTAS ESFÉRICAS

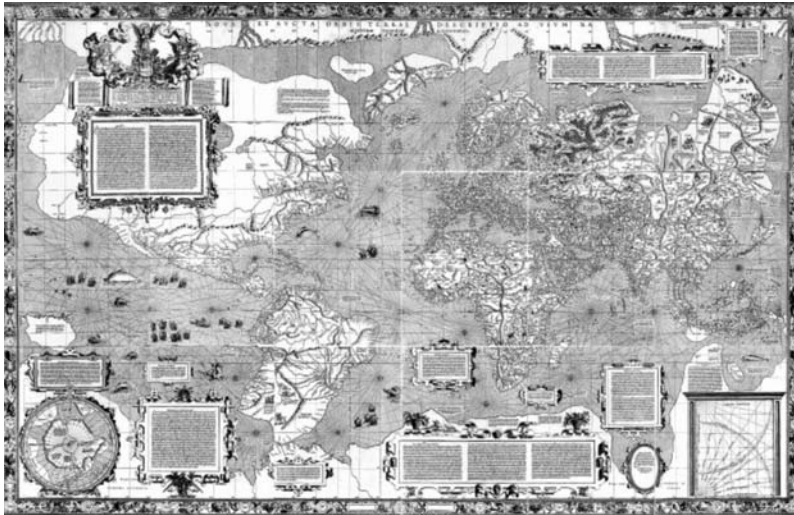
Este decisivo paso está vinculado al necesario uso de cartas con ámbito superior al mar Mediterráneo. Surge, pues, tras el descubrimiento de América.

Quizás convenga precisar en qué consiste una carta esférica, concepto éste que no siempre aparece expuesto con claridad. Carta esférica no es una carta concreta ni un modelo específico de carta. Se puede aceptar que carta esférica es aquélla que, de una manera u otra, total o parcialmente, se diseña teniendo presente que la Tierra es esférica y que nunca podrá lograrse una fiel representación de la superficie terrestre representada pues es bien conocida la imposibilidad de trasladar una superficie esférica a una plana conservando a la vez la forma (ángulos) y las distancias. Así pues toda carta que tenga presente de una forma u otra esta circunstancia es susceptible de llamarse carta esférica.

Los marinos y cartógrafos reales, tanto los de la casa de contratación como los cartógrafos flamencos al servicio del rey, sintieron la necesidad de modificar el diseño de los mapas en el sentido de acercar los meridianos de forma que se corrigiera el progresivo menor valor del grado. Fue Mercator, cartógrafo oficial de Carlos V, el que, sin saberlo, logró la mejor solución. En efecto, el objetivo de Mercator no era la confección de una carta esférica sino simplemente el diseño de una carta en donde las rutas constantes entre dos puntos se representaran por rectas. Este era el fin perseguido por Mercator con el fin, como él mismo declara, de servir para ayuda de los navegantes. En 1569, publicó su famosa carta *ad usum navigantium*³. En ella resolvía el problema de determinar el rumbo constante que debe seguir una nave para dirigirse de un punto a otro, que no era más que el ángulo que forma con el Norte la línea recta que, sobre la

(3) “Nueva y más completa representación del globo terrestre correctamente adaptada para el uso en la navegación”.

carta, une ambos puntos. En esta carta aparece el meridiano origen de longitudes en las islas de Cabo Verde porque, de acuerdo con la idea de gran parte de los navegantes, por allí pasaba el meridiano de declinación magnética nula. La idea básica de Mercator para conseguir su propósito fue, según él mismo expone, la de diseñar los paralelos y los meridianos de forma análoga a como se realiza en las cartas planas, esto es, en formas de haces de rectas paralelas que se cruzan ortogonalmente, pero con la peculiaridad de que la distancia entre las rectas representativas de los paralelos se incrementan conforme aumenta la latitud. Hoy sabemos que esta representación equivale a un tipo de proyección que podríamos llamar pseudo-cilíndrica que permite una representación conforme, esto es, que conservaba los ángulos y por consiguiente las formas.



Carta "Nova et aucta..." de Mercator. 1569

Pero la idea Mercatoriana de distanciar los paralelos fue tomada de otros marinos entre los que cabe destacar:

- Pedro Núñez, quien en su *Tratado de la Sphera* publicado en 1537, es decir, 4 años antes de que Mercator dibujara líneas loxodrómicas en su esfera y 32 años antes de la publicación de la "*nova et aucta...*", descubre el carácter espiriforme de la loxodrómica. Trabajó con Gemma Frisius⁴ y, parece demostrado, que colaboró con Mercator.

(4) Gemma Frisius, Gemma Reynery, profesor de Mercator, con el que colaboró en sus primeros años en el arte de construir esferas. Dominaba la trigonometría y se le atribuye la primera triangulación geodésica elemental. Ideó por primera vez el cálculo de las longitudes con ayuda de un reloj. Es considerado como el primer gran geógrafo holandés.

En sus escritos muestra la necesidad de modificar la distancia entre los paralelos al modo mercatoriano.

- Martín Cortés que, consciente del error de las cartas planas, propuso dos soluciones para corregirlo: disminuir las distancias entre meridianos con lo que se abocaba a una representación por husos, o bien dilatar las distancias entre paralelos de forma que se compensara el incremento de distancias entre meridianos tal como hizo Mercator.
- Martín Fernández de Enciso, sevillano que residió casi toda su vida en América dice, en su obra *Summa Geográfica*⁵, que “La separación de los paralelos no son siempre iguales sobre una buena carta marina sino que deben crecer con la latitud”. Esta acertada observación no vino acompañada, sin embargo, con la indicación de cuál debiera ser este crecimiento ni con su plasmación física en una carta.
- Alonso de Santa Cruz, autor del “Islario”, y cosmógrafo de “hacer cartas de marear” de la casa de contratación de Sevilla, se percató igualmente de la necesidad de modificar el valor erróneo que se daba a los grados de paralelo cuando estos se representaban por líneas equidistantes. Según Alejo de Venegas, hizo una carta abierta por los meridianos, desde la equinoccial a los polos, en la cual, sacando por el compás la distancia de los blancos que hay de meridiano a meridiano, queda la distancia verdadera de cada grado. Propone, pues, un método gráfico basado en la representación en forma de husos, para dar al grado de longitud su valor verdadero en función de la latitud.

Aunque todos los precursores tuvieron la idea de modificar el espaciamiento de los paralelos, sólo Mercator aportó tres hechos suplementarios y fundamentales para atribuirle, con toda justicia, la paternidad de su proyección: anuncia de qué forma deben espaciarse los paralelos, presenta el ábaco para construir una carta con esos espaciamientos, y realiza una carta mapamundi consecuente con lo anterior.

No se sabe, a ciencia cierta, cómo logró una casi perfecta coincidencia con los resultados científicamente correctos ya que no pudo ser fruto del principio que expone en la presentación del mapa⁶ ni del estado de las matemáticas en aquella época⁷.

(5) Primera obra náutica impresa de España. Se encuentra en la biblioteca del Museo Naval de Madrid. Se editó en 1519, cuando Mercator tenía 7 años. El mapa que acompañaba a la obra ha desaparecido probablemente por efecto de una “censura” derivada de una comprometedor representación de la línea de demarcación acordada en Tordesillas en 1494.

(6) “aumentar progresivamente los grados de las latitudes hacia cada polo proporcionalmente al aumento de los paralelos en relación con el ecuador”. Lo que equivale a decir $Y = RL \sec L$ donde Y es la separación del paralelo de latitud L expresada en radianes y R el radio de la esfera.

(7) El cálculo infinitesimal, imprescindible para el correcto cálculo analítico, no fue expuesto por primera vez hasta 100 años más tarde por el alemán Leibnitz y el inglés Newton y los logaritmos fueron dados a conocer por el inglés Juan Nepper en 1614

INFORMACIÓN DE NAVEGANTES

En cuanto a la información aportada por navegantes españoles y portugueses, son destacables las presentadas en 1512 por Andrés Morales sobre el archipiélago antillano, en 1515, por Díaz de Solís hasta el estuario de la Plata, en 1521, por Juan Sebastián Elcano sobre las Molucas, en 1789 por Malaspina sobre las costas del Mar Pacífico e Islas Marianas y Filipinas, por Tomás López, autor de una gran cantidad de mapas de todas las regiones españolas, o por Vicente Tofiño, que dirigió el levantamiento de las costas españolas (Atlas Marítimo de España, 1789). etc.

Pero no sólo existía un flujo de información al regreso de los navegantes por tierras americanas. A finales del Siglo XVI, España tenía instituido un procedimiento basado en el rellenado de cuestionarios oficiales por personal no especializado donde, cumpliendo unas sencillas instrucciones, se tomaban datos de los futuros eclipses de Luna observados en América, con el fin de determinar longitudes. En realidad, tanto la recogida de datos como la forma de obtenerlos mediante la altura meridiana con un gnomón, pretendían el conocimiento de la hora local del eclipse en América. Estos datos se enviaban a España donde, por comparación con la hora de observación del eclipse en la península, se calculaba la longitud del lugar americano. Se trataba, pues, del mismo sistema que propusiera Hiparco pero realizado por correspondencia. Resulta asombrosa la exactitud de los resultados alcanzados en algunas ocasiones, aún admitiendo que podían haber concurrido favorables compensaciones de errores. Tal es el caso de la medida de la longitud de la Casa de la Moneda en Méjico⁸

DETERMINACIÓN DE LA LONGITUD

En cuanto a los esfuerzos para la lograr un método de determinación de la longitud. España fue la primera potencia naval que convocó concursos dotados con grandes premios para quien descubriera una manera práctica de determinar la longitud en el mar. El primer premio lo ofreció Felipe II en 1567 y, en 1598, lo volvió a convocar Felipe III. A este último se presentó Galileo con la propuesta, que no prosperó, de utilizar los eclipses de los cuatro satélites de Júpiter entonces conocidos⁹, como indicadores de simultaneidad al igual que se hiciera con los eclipses de Luna¹⁰.

(8) Instrucción para la observación del eclipse que su majestad manda hacer el año de mil y quinientos y ochenta y dos en las ciudades y pueblos de Españoles de las Indias para verificar la longitud y altura de ellos que aunque pudiera haber otros medios matemáticos para ello se han elegido por mas faciles los que se siguen. Medida de la Longitud de la Casa de la Moneda en Méjico. *Imago Mundi* XXIII 1969,21-2.

(9) Hoy se conocen 16 satélites. Los cuatro satélites principales, satélites mediceos, giran con un periodo que va de 2 a 17 días produciéndose, cada ciclo, la correspondiente ocultación al pasar detrás del planeta.

(10) Tan útil como las ocultaciones de cada satélite, es representar las configuraciones de los 4 satélites mediceos. Estas aparecen en los almanaques náuticos para, de su examen, deducir la hora en el punto de referencia

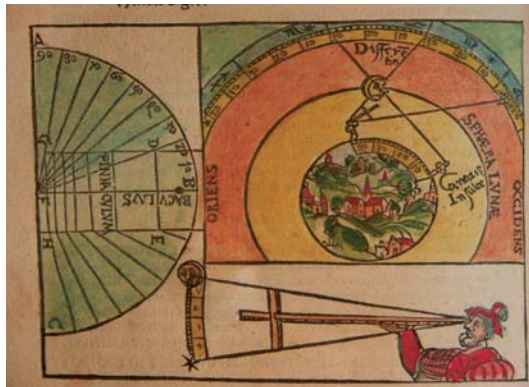
MÉTODO DE DISTANCIAS LUNARES

El problema de la determinación de la longitud era cada vez más acuciante y seguía sin solución satisfactoria. Se debe reseñar que en el Siglo XVI, aunque no se resolvió, se produjo el comienzo de un gran esfuerzo europeo y multidisciplinar para el desarrollo de un método científico del cálculo de la longitud. Fue en 1514 cuando el alemán Johann Werner¹¹ concibió, en forma de comentario inserto en una traducción de la Geografía de Ptolomeo, que las longitudes podían calcularse en base a *la distancia entre la luna y las estrellas fijas que se separen poco o nada de la eclíptica* y en la confección de tablas que dieran esas posiciones para el lugar de referencia. Pero no fue Werner quien dio a conocer su método, sino Peter Apiano en su libro *Cosmographía* publicado en 1524 y reeditado algo más tarde por Gema Frisius



Medida de la longitud por distancias lunares. 1514

Cosmografía.
Peter Apiano. 1524



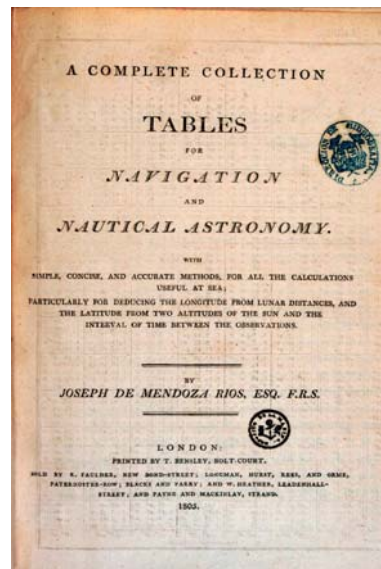
(11) Profesor de la Universidad de Nuremberg (1468-1522)

El método, único existente que descansaba sobre una sólida base técnica y científica, no pudo llevarse a la práctica en el S. XVI dada la complejidad de cálculo y de correcciones, y tuvo que esperar hasta mediado el siglo XVIII.

El método de las distancias lunares, antecesor directo del actual método del cronómetro¹², es un notable ejemplo de cómo una amplia contribución científica y técnica, mantenida durante largo tiempo y puesta al servicio de un objetivo común, puede alcanzar grandes resultados. A su éxito definitivo contribuyeron las aportaciones de grandes físicos como Huygens, Newton y Galileo, de notables matemáticos como Euler y D'Alembert, destacados técnicos como Bradley, y famosos astrónomos como Flamstead, Maskeline y Halley.

El método de las distancias lunares para determinar la longitud alcanzó plena operatividad en 1750. Estuvo en vigor hasta mediados del siglo XIX con un esplendor máximo entre 1760 y 1810. A partir de esta fecha, la amplitud de su uso fue declinando en beneficio del uso del cronómetro y tablas aunque el Almanaque Náutico Español mantuvo las tablas de distancias lunares hasta 1904.

Los mayores esfuerzos de perfeccionamiento del método se centraron en encontrar una manera sencilla y rápida de hacer las correcciones y, en este sentido, es de destacar el procedimiento propuesto por Mendoza y Ríos para *despejar la distancia* usando unas tablas perfeccionadas. Su método sería adoptado por la Marina de la práctica totalidad de países. Así mismo debe citarse a a Gabriel Ciscar y Ciscar, considerado el primer matemático español de su tiempo, que en 1803 publicó un trabajo donde explicaba varios *métodos gráficos para corregir las distancias lunares con la aproximación necesaria para determinar las longitudes en el mar*.



Mendoza y Ríos.
Tabla para despejar la distancia.

(12) El método actual de determinación de longitud y latitud es el basado en la información de satélites, GPS, pero el sistema del cronómetro y tabla todavía sigue siendo preceptivo en navegación.

APORTACIÓN CIENTÍFICA DE JORGE JUAN DE SANTACILIA

En 1748 Jorge Juan edita la *Relación histórica del viaje a la América meridional*. En el tercer tomo dedicado a las *Observaciones astronómicas y físicas hechas en los reinos de Perú* aparece, por vez primera en la península, el cálculo infinitesimal, según hace constar Juan Vernet en su *Historia de la Ciencia en España*. Esta obra se tradujo a varios idiomas y se difundió rápidamente por Europa.

336 OBSERVACIONES
 medido $2^{\circ} 53' 19''$, ò de folo $41''$ de equivocacion para cada uno de los dos Observadores. Vuelvase à considerar, que son $41''$ de yerro, repartidos no folo en la Observacion, pero tambien en el examen del Pendulo, y fe concluirá como antes.

Segun esto, todas las Observaciones convienen en que la Tierra es una Elipsoide Lata, y fu razon de Diametros la de 265 à 266 , aunque en ello ultimo fe pòsian admitir algunas cortas alteraciones, segun los yerros, que fe quieren suponer en las Observaciones.

Ello es elabecido, y el valor del grado del Equador siendo (como diximos) de 57212 toefas, y la circunferencia de este círculo tendrá 20602166 toefas, ò $53079433\frac{1}{2}$ Varas Castellanas, y fu Diametro 6557903 toefas, ò $16395708\frac{1}{2}$ Varas; por lo qual, le tocan al Eje (cuyo la razon dada de 266 à 265) 6533249 toefas, ò 16832190 Varas. Eittará pues el Equador mas distante del centro de la Tierra, que el Polo 12327 toefas, ò $31759\frac{1}{2}$ Varas.

Para hallar la Periferia de los Meridianos, es necesario valerse de la rectificacion de la Elipse. Esta la traen varios Autohores, que tratan de Geometría sublimè, y de los cálculos diferencial, ò integral, pero las formulas, que dan para ello, folo pueden fervir, quando fe buscan Arcos pequeños de la Curva; pues queriendose valer de ellas para hallar todo el quadrante de la Elipse, los terminos de la Serie, à que reducen dicha rectificacion, disminuyen tan poco à poco, que es casi imposible la operacion. Con esto me ha parecido, que pueden los Geometras gustar de ver el methodo, que yo he seguido de rectificar, ò hallar la Periferia de la Elipse de la Tierra; pues en él fe evita el inconveniente que padecen los demas: es pues el methodo el siguiente.

PRO-

HECHAS DE ORDEN DE S.M. 337

PROBLEMA.

Rectificar la Elipse de los Meridianos de la Tierra, ò hallar la Periferia de éstos.

Sea BECQ^a la Elipse, ò Meridiano de la Tierra, que se pretende rectificar; EQ el Diametro del Equador; y BC el Eje. Tirese la linea GI paralela al Eje, ò infinitamente inmediata à ella, y tambien la ON, asimismo paralela à Eje. Baxese la perpendicular NP, y sean por lo presente

- BE = x
- DE = a
- DB = s
- DG = x
- GI = y
- NP = dx
- PI = dy

La equacion à la Elipse será con esto $\frac{x}{a}y' = 1 - x'^2$,

y su diferencia $dy = -a'x'dx$; por lo qual $dy = \frac{-a'x'dx}{1-x'^2}$.

De la equacion primera tenemos $y = a \cdot (1-x'^2)^{\frac{1}{2}}$; luego

$dy = \frac{-ax'dx}{(1-x'^2)^{\frac{1}{2}}}$; y así será el pequeño arco IN = ..

$(NP^2 + PI^2)^{\frac{1}{2}} = (dx^2 + \frac{a'^2 dx^2}{1-x'^2})^{\frac{1}{2}} = \dots$

$dx \cdot \frac{(1-x'^2 + a'^2 x'^2)^{\frac{1}{2}}}{(1-x'^2)^{\frac{1}{2}}} = (\text{suponiendo } 1-a'^2 = n') \dots$

$dx \cdot \frac{(1-n'^2 x'^2)^{\frac{1}{2}}}{(1-x'^2)^{\frac{1}{2}}}$

Reduzcáse ahora la cantidad $(1-n'^2 x'^2)^{\frac{1}{2}}$ à una Série infinita;

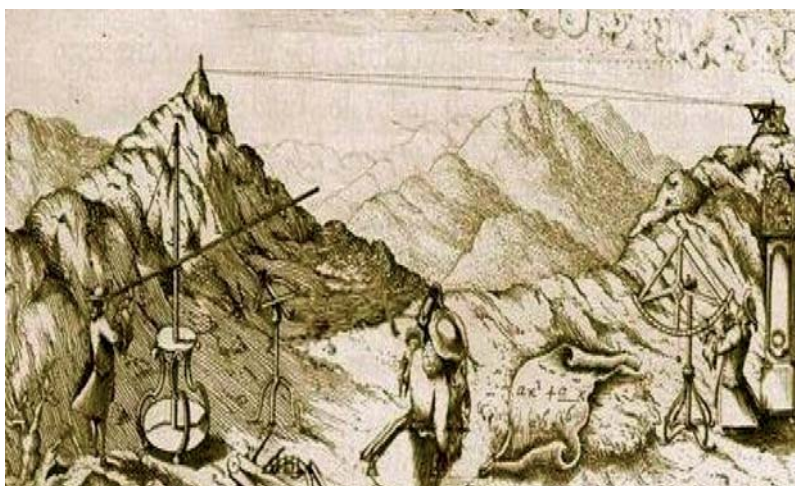
1748. Jorge Juan. Cálculo del meridiano mediante cálculo diferencial

Entendemos que esta aportación, la introducción en España del cálculo infinitesimal, es una de las más importantes que realizó Jorge Juan. Téngase presente el considerable retraso científico y matemático en el que cayó España en el Siglo XVII, precisamente cuando Newton en 1693 y Leibnitz en 1686 inventaron el cálculo infinitesimal que se revelaría como un arma excepcional para el desarrollo de las técnicas en general y de la Física y Matemáticas en particular¹³.

(13) En 1806 Pedro Antonio Cerviño Director de la Academia de Náutica decía a los miembros de la Marina Mercantil que se enseñe el álgebra y la aplicación de esta ciencia a la aritmética y geometría; con su auxilio se enseñan las propiedades de las curvas cónicas, se pasa inmediatamente al cálculo infinitesimal; cálculo maravilloso, cálculo sorprendente, cálculo que hará inmortales los nombres de Newton, Leibnitz y añade más tarde Este auxilio, el más singular que ha tenido el espíritu humano para atacar las dificultades más rebeldes y desatar los nudos más intrincados, ha facilitado la inteligencia y resolución de las cuestiones más delicadas de la dinámica y de la hidrodinámica: ciencias que averiguan la acción y resistencia de los sólidos y fluidos, y que de consiguiente forman ambas la ciencia naval.

En 1752, Jorge Juan fue nombrado director de la Academia de Guardias Marinas de Cádiz que había sido creada creado en 1727 por Felipe V.

Poco más tarde, en 1754, las primeras referencias al cálculo infinitesimal aparecen en el programa de un certamen matemático que se celebraría en Cádiz. En la presentación de este programa se dice expresamente que los cadetes que protagonizan el acto, los más brillantes sin duda, *explicarán los Cálculos Diferencial e Integral, su índole, sus métodos y sus usos; y aplicarán todas esta Reglas y Construcciones a la resolución de varios problemas como son los de Máximos y Mínimos...* Es evidente que si iban a explicar esta disciplina era porque antes ya lo habían estudiado y, parecer, que su inclusión en el programa de estudios sólo lo pudo realizar su director Jorge Juan.



Geodesia. Triangulación en la Cordillera Andina

Otra aportación esencial de Jorge Juan se centró en el campo de la geodesia. En 1751 propuso al Marqués de la Ensenada un plan titulado *método de levantar y dirigir el mapa o plano general de España con reflexiones a las dificultades que pueden ofrecerse*, que se apoyaba en una triangulación geodésica. En el plan se tenían presentes las *instrucciones físicas hechas en los reinos de Perú*, escrito por el mismo Jorge Juan. Fue el primer proyecto de un mapa de España con carácter de trabajo cartográfico global del territorio nacional. Ocurrió en un momento histórico en el que los gobiernos ilustrados del S. XVIII habían comenzado a sentir un cierto interés por la geodesia y sus aplicaciones prácticas. No obstante, los acontecimientos políticos impidieron que los planes de Jorge Juan no llegaran a realizarse.



Medida del grado de meridiano en el Ecuador. Jorge Juan 1744.