

Un apunte sobre la Historia de la Ingeniería Cartográfica en el Mundo Occidental: Páginas valencianas.

Miriam Villar Cano

10 de Diciembre de 2010

Índice general

1. Introducción hasta fines del siglo XIII.	3
2. La Ingeniería Cartográfica Portulana. Luis Giménez Lorente, moderno investigador valenciano, sabio y mecenas. Tecnología eficiente en el Mediterráneo.	18
2.1. Exploraciones, Cartografías y Descubrimientos. Tecnología cartográfica colombina.	41
2.2. La página valenciana de Diego Ramírez de Arellano.	53
3. La Ingeniería Cartográfica de la Ilustración. El problema de la forma de la Tierra.	60
3.1. La página valenciana de Jerónimo Muñoz. Un precursor.	75
3.2. El siglo XVIII. Ilustrados, novatores y medidores de meridianos.	84
3.3. Números del siglo XXI sobre el trabajo de Jorge Juan en Perú en el siglo XVIII. Una página valenciana difícil de superar.	89
4. El siglo XIX. Después de Jorge Juan.	94
4.1. La página valenciana de José Chaix Isniet y alguno más.	95
4.2. La página valenciana de Gabriel Ciscar y Ciscar.	109
4.2.1. Pesos y Medidas en la Valencia Medieval. Un antecedente relevante. El “Llibre del Mustaçaf”.	111
4.2.2. El Sistema Métrico Decimal y Gabriel Ciscar y Ciscar.	114
4.2.3. Gabriel Ciscar y Ciscar, científico, docente, militar, político, patriota y poeta.	121
5. Y final, con una página colectiva valenciana contemporánea.	130

Objeto.

Después de diversas publicaciones anteriores que se citan a lo largo de ésta, los autores han llegado a la convicción de que la Historia de la Ingeniería Cartográfica del Mundo Occidental no solo es imposible de explicar sin sus fuentes mediterráneas, sino que además, especialmente en los momentos estelares de los siglos XVI hasta el XIX, con inusitada frecuencia es protagonizada por insignes, y en alguna ocasión heroicas y trágicas individualidades valencianas, que desempeñaron papeles decisivos. Quizás solo como excepción, el protagonismo de las dos últimas décadas en la Ingeniería Cartográfica de la Comunidad Valenciana lo ha ejercido un colectivo. Estos hechos, en conjunto y por separado, entendemos que deben ser resaltados como se merecen.

Así, para la adecuada comprensión del texto que sigue ha sido imprescindible reunir sobre el cañamazo de la Historia retazos ya conocidos y explicados en distintos lugares y ocasiones que juzgamos fundamentales para presentar con la necesaria hilazón el paisaje de fondo sobre el que esperamos destaquen fielmente y se entiendan mejor la importancia y secuencia de los acontecimientos, llamando la atención sobre las páginas valencianas que, por los motivos que sean, creemos han resultado durante siglos insuficientemente comprendidas, mal valoradas, poco conocidas, o simplemente, ignoradas.

Nos aplicaremos así a presentar en sus elevados y justos términos trabajos como los pioneros de Jerónimo Muñoz en el método de triangulación geodésica y topográfica, la trascendencia que para determinar la forma de la Tierra y desarrollar la Ingeniería Cartográfica del Mundo Occidental tuvo la medición del Arco de Meridiano de Quito por Jorge Juan y Antonio de Ulloa, con el increíble error de 28 metros, el significado científico y práctico del cierre del meridiano de París sobre Baleares realizado por José Chaix Isniet y José Rodríguez González, la ingente labor de Gabriel de Ciscar y Ciscar introduciendo el Sistema Métrico Decimal en Europa y España en tiempos de terribles convulsiones sociales y guerras. Y por lo que respecta a los últimos años, nos referiremos a la importancia para una Universidad tan joven como la Politécnica de Valencia de contar con el fruto de la investigación de un gran erudito en Cartografía Portulana Medieval, Luis Giménez Lorente. Y también como fue posible romper con el estado de postración en que se hallaba la Ingeniería Cartográfica Valenciana al principio de los años ochenta del pasado siglo y alcanzar la prometedora situación actual, gracias al entusiasmo y buen hacer de un equipo de profesionales de excepción, felizmente todavía en activo.

Capítulo 1

Introducción hasta fines del siglo XIII.

Se denomina Ingeniería Cartográfica a la Ciencia y Tecnologías que tienen por objeto el conocimiento y descripción en conjunto y detalle del escenario accesible a la percepción humana, con métrica tan rigurosa como sea asequible y cualquiera que sea la estabilidad y nivel de informatización de su soporte, desde entornos tan pequeños como se quiera hasta la totalidad del Globo Terrestre y el Espacio Sideral. En sentido lato, también forma parte de la Ingeniería definida la función y técnica mismas de medir, proponer, desarrollar y contrastar instrumentos y Sistemas de Medida por medio de la disciplina llamada Metrología.

Tan antigua como el pensamiento humano, durante milenios se esforzó en la formación de planos, mapas y cartas de navegación imprescindibles para el progreso de los pueblos, que otorgaron a sus profesionales la más alta consideración económica y social y a sus productos cotizaciones económicas cuantiosas y frecuentemente la condición de Secretos de Estado. Culminó en la Época de los Grandes Descubrimientos durante los siglos XV al XVIII de nuestra Era y es seguro que volverá a repetirse la historia en un futuro que parece cercano, cuando el desafío permanente de la exploración del Cosmos coincida con la disposición de medios vehiculares, instrumentos y tecnologías que permitan aventurarse en él, siendo asequible a escala humana llegar hasta donde se desee y volver a puerto de partida disponiendo de una descripción métrica, científica y técnica de la ruta seguida y los lugares visitados.

En definitiva, ha sido, es y comprende toda la ingente infraestructura científica y tecnológica que frecuentemente se ignora y sin embargo soporta y genera los productos métricos y de orientación sin los que el progreso de la Civilización resulta simplemente impensable.

No necesariamente la existencia de Cartografía ha supuesto o supone el apoyo de una Ingeniería Cartográfica previa. Por ejemplo, la representación egipcia del Cosmos¹ contenida en el Papiro de Anhai, con una antigüedad de más de 20

¹Davis Mac Lagan “Mitos de la Creación” pg. 59. Editorial Debate. Madrid 1989. Nun,

siglos respecto a nuestro días difícilmente puede tomarse como imagen métrica útil espacio temporal de nuestro Universo. (Fig. 1.1).

Sin embargo en Egipto y Babilonia se disponía de eficientes planos de pequeña y mediana extensión sobre papiro y tablas de arcilla de diversa temática². Así, los egipcios desarrollaron durante milenios una cartografía muy precisa en aplicaciones catastrales, con una modélica tecnología de conservación, actualización y posterior replanteo impuestos por las periódicas crecidas del Nilo que borran las lindes de las parcelas. Las últimas dinastías faraónicas formaron una cartografía claramente helenizada. Herodoto narra la campaña de Escitia en que el faraón Sesostris levantó mapas de los terrenos ocupados. También destacaron en planos de ejecución de sus grandes obras civiles y de explotaciones auxiliares, como el de las minas de oro de Nubia Fig. 1.2, con red viaria de accesos, escombreras y viviendas de mineros, que se conserva en el Museo de la Antigüedad de Turin³.

Existen registros de demostraciones babilonias geometrográficamente perfectas. Y en Geometría, Ciencia de medir la Tierra el adjetivo “perfecto” significa exactamente lo que quiere decir, sin sentido peyorativo alguno. En el Museo Semítico de la Universidad de Harvard, se conserva trazado sobre una tableta de arcilla el Mapa de Ga-Sur, cerca de Yorgan Tepe, 300 Km. al N. de Babilonia, datado en el año 3800 a.d.C.⁴ Es un mapa parcelario con más que probables intenciones catastrales y fiscales.

Y el primer Mapamundi conocido es también babilónico Fig. 1.3⁵, con Babilonia en el centro, otras ciudades menores, países míticos y diversos accidentes geográficos.

Es una obviedad que su ingeniería de apoyo sigue siendo inexistente. Para que aparezca, y en forma explosiva, es preciso esperar a la civilización griega y helenística.⁶

el Caos Acuoso, levanta en sus brazos el Barco Solar con sus siete dioses. A su vez, Kefri el Escarabajo sostiene el disco que represente al Mundo y al Más Allá. (Papiro de Anhai. ca. Siglo XII a.C.). Con toda seguridad el papiro describe un mito de origen muy anterior, a lo menos en otros doce siglos.

²Ver p.ej. M.Chueca, M.J.Jiménez, F.García y M.Villar “Compendio de Historia de la Ingeniería Cartográfica” pg. 18 y sig. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia 2008.

³José Martín Lopez “Historia de la Cartografía y de la Topografía” pg 25 y sig. Editorial del Centro Nacional de Información Geográfica. Madrid 2002. Se encontró en Dar el Medina en 1820, está rotulado en caracteres hieráticos por un escriba llamado Amennakhte y corresponde a la época de Ramsés III (1190-1150 a.d.C.). Se ha identificado la zona con el distrito minero de Bechen, al E. de Koptos. También en M. Chueca et al. Opus cit.

⁴Martín López Opus cit. “Es el mapa de un distrito rodeado por dos cadenas de montañas y cortado por un río. En el centro hay una parcela, cuya superficie está estimada en 354 iku (unas 12 Ha.) y tiene por propietario a Azala. Hay algunos círculos, rotulados en signos cuneiformes, que representan poblaciones, de las que solo se ha podido leer el nombre de Mascan-dur-ibla, identificado con el actual Nuzi-Durubia. Están rotulados los nombre de los puntos cardinales.” Ibidem M.Chueca et al. Pg.20.

⁵“Mapping the World” Peter Withfield. Pg. 16. British Library. London 2000. Tabla de arcilla. Se representa Babilonia, Asiria, los ríos Eufrates y Tigris, grandes pantanos hacia el N., y se suponen tierras desconocidas más allá del Océano que rodea el mundo.

⁶Manuel Chueca. “La ingeniería cartográfica. Su peripecia vital en España. La aportación valenciana”. Discurso de ingreso en la Real Academia de Cultura Valenciana. Pg. 24 y sig.

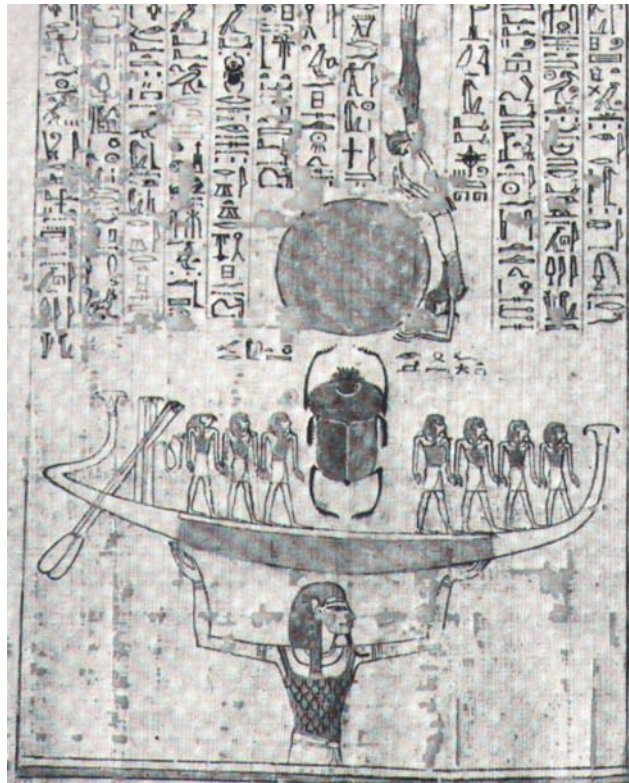


Figura 1.1: El Universo Egipcio



Figura 1.2: Minas de Nubia. Plano en papiro e interpretación en papel

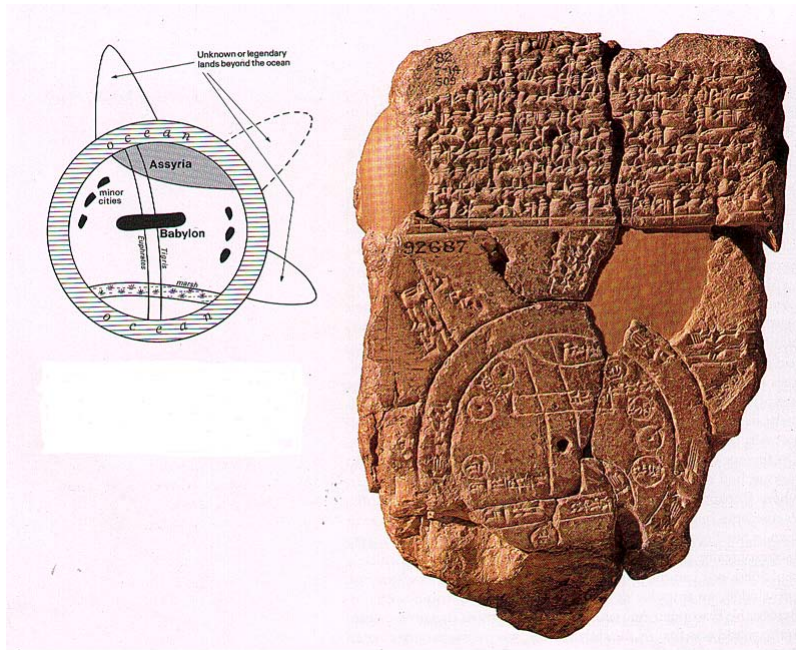


Figura 1.3: Mapamundi babilónico. 600 a.d.C.

Sería interminable tratar de agotar la lista de ingenieros, matemáticos, geómetras, cartógrafos y astrónomos griegos eminentes.⁷ Como paradoja, porque tuvo la negativa influencia ulterior que en seguida veremos, y para constatar que también eran humanos, es necesario citar a Posidonio de Rodas, siglo I a.d.C., que intentó superar la precisión de Eratóstenes de Cirene en la medida de la esfericidad de la Tierra por desarrollo de una circunferencia de círculo máximo y hoy suele aceptarse que se equivocó lamentablemente⁸, aunque también pudiera ser

RACV. Valencia 2006. Se cita casi literalmente.

⁷Citemos solamente a Heraclides de Ponto, Aristarco de Samos, que intuyó y defendió la teoría heliocéntrica, Marino de Tiro, Hiparco de Nicea, fundador de la Astronomía Esférica de Posición, geometra y trigonómetra avanzado en muchos siglos a su tiempo, Herón de Alejandría, creador de la Geodesia y la Topografía, Menelao de Alejandría y tantos otros, hasta culminar en Claudio Ptolomeo.

⁸No obstante, como llama la atención que un científico de la reconocida solvencia de Posidonio sufriera tal contratiempo, merece la pena preguntarse si existe algo más que la simple equivocación. Efectivamente, algunos autores, Bigourdan y Kretschmer entre otros, han señalado que existían dos unidades de medida lineal llamadas ambas “estadios”, la egipcia alejandrina y la ateniense, estando una y otra en la relación 3/4. Eratóstenes midió el arco de meridiano entre Alejandría y Siena (hoy Asuán), evidentemente trabajó con estadios alejandrinos y obtuvo un resultado de 252.000, muy aproximadamente 40.000 km. actuales para la circunferencia de círculo máximo rectificada. Pero Posidonio efectuó sus mediciones en Rodas y tal vez lo hiciera en estadios atenienses, muy generalizados en la época. En dicho supuesto la medición de Posidonio homogeneizada con la de Eratóstenes sería de 180.000 estadios atenienses $\times 1,333 = 240.000$ que es ya más razonable. Pudo suceder que esta ambigüedad en unidades no fuera conocida o no se tuviera en cuenta en su momento y de ahí deriva la con-

que todo se deba a un malentendido posterior causado por una errónea conversión de unidades de longitud. Como resultado se le atribuyeron unas cifras muy inferiores que por inciertas razones aceptó posteriormente Claudio Ptolomeo y llegaron hasta los cartógrafos de la época colombina. De acuerdo con ellas, América no cabía entre Asia y Europa, que aparentemente estaban mucho más cerca por la ruta de Occidente, a través del Océano Atlántico. Colón se lo creyó y, lo que es más importante, vivió y murió convencido de ello.

E irrumpe en la Historia el alejandrino Claudio Ptolomeo, apogeo y culminación de la Cartografía e Ingeniería Cartográfica griegas y helenísticas. Ptolomeo vivió en Alejandría en el siglo II de nuestra Era. Parece que también residió en Canope, donde falleció en fecha mal conocida. Algunos autores señalan su vida del año 90 al 168⁹. Su obra abarca un amplio abanico de disciplinas y conocimientos científicos. Matemático, geometra, trigonómetra, astrónomo, físico especializado en óptica, etc... Para nosotros fundamentalmente fue el autor del primer Atlas Universal que representa con rigor matemático la Ekumene (Oikós Mene, tierra conocida), fracción de 180° del esferoide terrestre referidos al Ecuador por medio de una proyección pseudocónica, y georreferencia sus puntos dándoles coordenadas de longitud y latitud con una red de meridianos y paralelos. Su *Megale Sintaxis* o *Constructio Matemática* en trece libros conocida como *Almagesto* (Tabrir Al Magesthi, “el más grande”), en la traducción árabe y su *Geografike Uphegenesis*, *Introducción a la Cartografía o Geografía*, en ocho libros, también traducida por los árabes, hicieron posible la Cartografía europea a partir del siglo XIII.¹⁰

Ampliando lo expuesto, es de justicia aceptar que en gran medida se debe a los árabes la conservación de la cartografía producida por los sabios griegos y alejandrinos. Su contribución se sintetiza en la traducción y asimilación de los conocimientos de la antigüedad, con fuentes griegas, persas e indias, la conservación de escritos esenciales, principalmente de Claudio Ptolomeo, y la descripción y compilación cartográfica del mundo musulmán en su conjunto, desde el Océano Atlántico a China. Además, avances de gran importancia en matemáticas, cartografía matemática y astronomía de posición.¹¹

fusión. Ver “El Cielo de Colón” pg.110 y sig., Tabapress. Madrid 1991, donde por cierto los datos que ofrecen están también afectados de algún error porque las operaciones aritméticas que de ellos se derivan no dan los resultados que debieran. Compruébese si se desea.

⁹Carmen Líteer et alt. Historia de la Ciencia. Tomo XIII. Pg. 10. Ediciones Akal. S.A. Madrid 1992.

¹⁰David Buisseret. “La revolución cartográfica en Europa, 1400-1800”.Pg. 33 y sig. Ediciones Paidós Ibérica S.A. Madrid. 2004. Fue al parecer redescubierto en el siglo XIII por el sabio bizantino Maximus Planudes, que construyó la primera serie de 27 mapas que ha llegado hasta nosotros siguiendo las instrucciones contenidas en su Geografía. Centrando la ekumene en Rodas, su cartografía constituyó un avance colosal para la época tanto en calidad como en precisión, aun cuando éstas no fuesen homogéneas, decreciendo lógicamente por acumulación de errores hacia las regiones más orientales y occidentales representadas. Puede comprobarse en su cartografía de la Península Ibérica y las Islas Británicas, donde sin embargo se conserva el volumen y detalle de información descriptiva. Enricus Martellus y Nicolás Germanus en 1477 publicaron en Bolonia la primera edición impresa de la Geografía, incluyendo Atlas, a la que tuvieron al parecer acceso por medio de un manuscrito hoy perdido. La edición de Ulm (1428) tenía cuatro mapas nuevos, la de Roma (1507) siete, la de Estrasburgo (1513), veinte.

¹¹Y es preciso citar la contribución a la cartografía contenida en las admirables descripciones

El cartógrafo Al Idrisi fue la figura árabe más importante de su época. A él se debe su gran Mapamundi, publicado en 1154, acompañado de una completa y precisa descripción escrita.¹²

Claudio Ptolomeo insistió en que mucha de su información procedía de sabios anteriores, como Marino de Tiro, pero no cabe duda de que supo ampliar y mejorar sus fuentes con su trabajo. Aparte de su error en el dimensionado de la tierra que ya hemos mencionado, debido a preferir el Trabajo de Posidonio antes que el de Eratóstenes, es preciso anotar su condición de geocentrista convencido, indiscutido e indiscutible hasta Copérnico y Galileo. Su balance puede resumirse en que es el primer cartógrafo de la historia cuyo trabajo guarda cierto parecido con un mapa moderno, adaptado de proyección y escala. No obstante la superposición de ambos confirma la esencial condición épica de los viajes antiguos. Es preciso llegar a la cartografía portulana, para que la misma prueba resulte menos preocupante, y en la práctica ello tan solo en el mar Mediterráneo. Figs. 1.4¹³ y 1.5

Por lo que respecta a la Cartografía e Ingeniería Cartográfica romana¹⁴, es preciso tener presente que los romanos, pueblo guerrero, conquistador y eminentemente pragmático, diríase que rechazaban cualquier especulación científica de la que no se obtuviera alguna utilidad práctica al plazo más corto posible. Justo lo contrario de los griegos clásicos. Por consiguiente para ellos la Cartografía era simplemente un instrumento tecnológico de aplicación en campañas militares, en obras públicas o, a lo menos, en la agrimensura de sus territorios en perpetua expansión por derecho de conquista. Sus avances y logros, que fueron importantes en Geometría y Geodesia se enfocaron esencialmente a levantamientos lineales, como los Mapas Itinerarios que describen con todo detalle y rigor el eje de la ruta de penetración en cualquier territorio y su zona de influencia, siendo imprescindibles para hacer la guerra, proyectar lógicamente etapas de viajes largos, construir vías de comunicación o establecer relaciones comerciales continuadas¹⁵.

de los grandes viajeros árabes Ibn Batuta, Al Biruni, Ibn Fadlan, Al Masudi, Ibn Hauqal ... y muchos más, que confeccionaron verdaderos mapas itinerarios de las rutas de las grandes caravanas.

¹²Abu Abdallah Muhammad Al Idrisi (1099-1171), nieto del taifa de Málaga Idris II, nacido en Ceuta, estudió en Córdoba, fue un gran viajero y recaló en Sicilia donde del rey Roger II le nombró Geógrafo Real. Siguiendo órdenes suyas construyó y publicó su gran Mapamundi centrado en La Meca y con el Sur en la parte superior, según era norma en la cartografía árabe, que grabó en una lámina de plata de 3,50 metros de longitud, que fue destruida, conservándose copias manuscritas parciales. A él se debe también un manual de geografía y un Mapamundi más pequeño, circular, centrado sobre la Meca, preparado para el hijo del rey, que sería coronado como Guillermo II.

¹³Gonzalo Menéndez Pidal "Hacia una nueva imagen del mundo", Pg. 129. Real Academia de la Historia. Madrid. 2003

¹⁴Como en otros pasajes de este trabajo, nos referimos a nuestra publicación anterior Opus. Cit. M.Chueca, M.J.Jiménez, F.García y M.Villar "Compendio de Historia de la Ingeniería Cartográfica".

¹⁵Leemos en el "Tratado Militar de Vegetius", siglo IV, apartado referente a "Marchas cerca del enemigo": "Un general debe ser cuidadoso y diligente al tomar las medidas necesarias para impedir una sorpresa en la marcha. En primer lugar debe tener una descripción exacta del escenario de la guerra, donde deben estar correctamente anotadas las distancias entre lugares,



Figura 1.4: La Ekumene de Ptolomeo

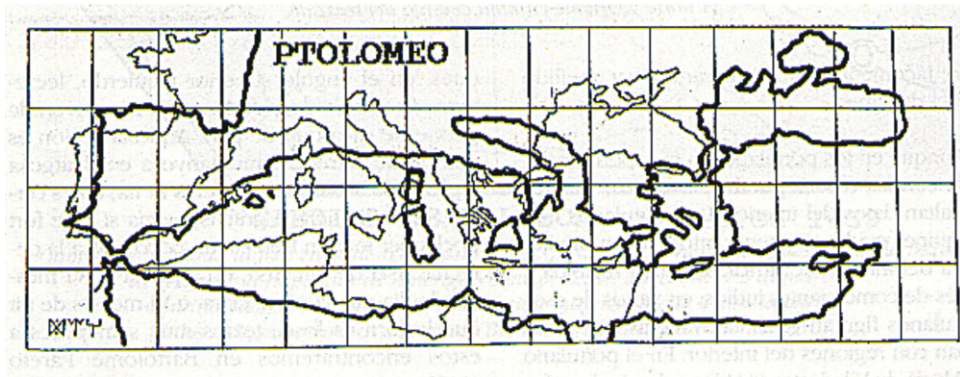


Figura 1.5: Superposición del Mapamundi de Ptolomeo y un mapa moderno adaptado de proyección y escala

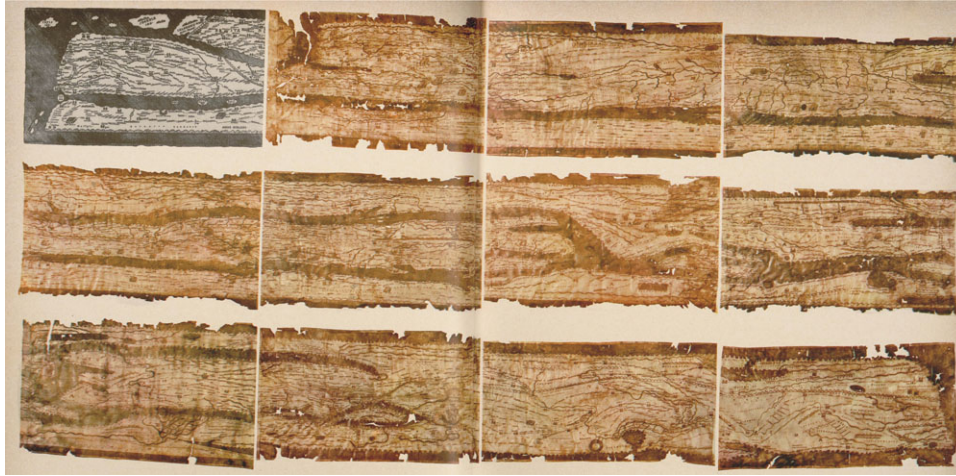
El más célebre de los mapas itinerarios de la Ingeniería Cartográfica Romana es la Tabula Peutingeriana.¹⁶ Fig.1.6. En el año 1507, Honrad Celtes, famoso humanista y bibliotecario del emperador Maximiliano, halló, en un lugar que nunca quiso revelar, un rollo de mapas, que entregó al austríaco Konrad Peutinger, (1465 – 1547), adinerado vienés aficionado a la Arqueología secretario del ayuntamiento de Augsburgo. Tras diversas vicisitudes, a lo largo de tres siglos, la Tabula pasó a poder del príncipe Eugenio de Saboya, quien lo legó a su muerte, a la Biblioteca Real de Viena, donde se conserva en la actualidad, dividida en once hojas de pergamino. Hasta el año 1803 formaba una única pieza de 6.82 m de largo y 34 cm de ancho, pero el temor a desperfectos en su manejo obligó a fragmentarla.

Inicialmente eran 12 segmentos; pero el primero, en el que figuraban Britania, Hispania y el norte de África, se ha perdido. El erudito Honrad Miller en el siglo XX estudió concienzudamente el mapa y reconstruyó dicho fragmento a partir de los datos contenidos en el segundo. Miller defiende que la Tabula forma parte o simplemente, es el Mapamundi de Casorius o Castorius, citado como fuente principal en el Anónimo de Ravena (Cosmografía o Descripción del Mundo datada en el siglo VII). Además, entre cinco posibles candidatos a sede del escritorio medieval de donde procede la copia que nos ha llegado, se inclina por el Convento de Dominicos de Colmar, en Alsacia, donde opina que lo descubrió Celtes. Y afirma que fue copiado por una sola mano, hacia el siglo XII y tan fielmente que llegó a imitar la letra de finales de la época romana. Hasta el siglo XIX la Tabula tuvo una vida azarosa de pérdidas y hallazgos. Hoy, como uno de sus preciosos tesoros históricos, forma parte del Codex Vindobonensis, catalogado con el número 324 de su sección.

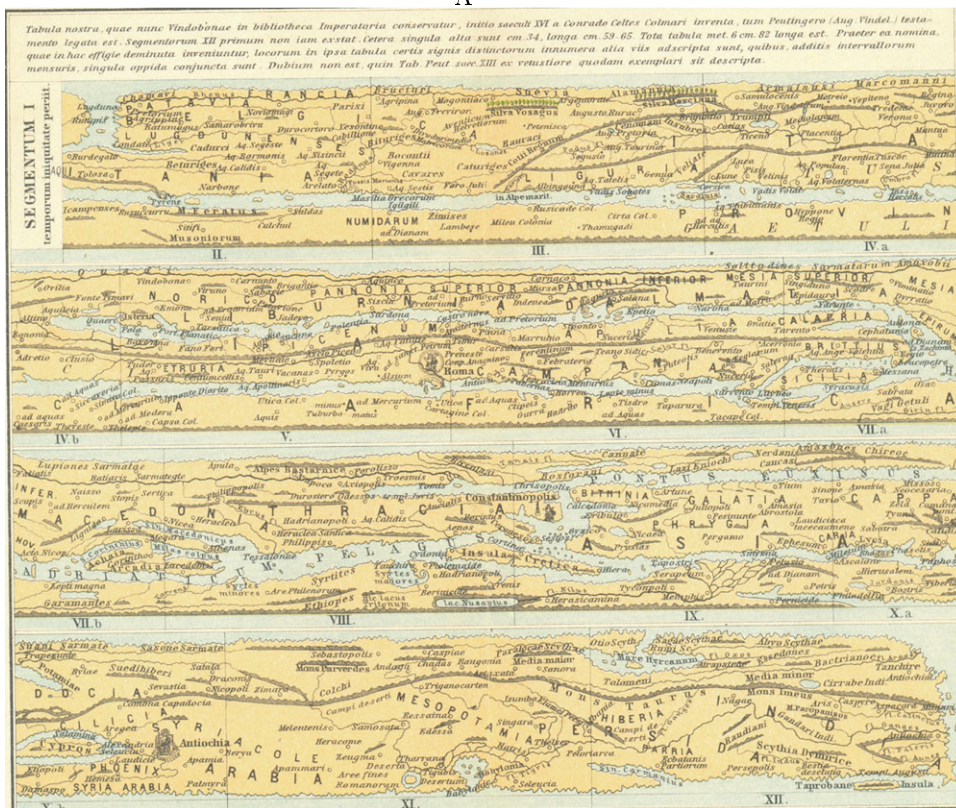
La Tabula pretende y consigue en buena medida constituir un mapamundi radial que abarca la tierra habitada conocida con sus tres partes fundamentales: Europa, Asia y África, separadas por el Tanahis (río Don), el Nilo y el mar Mediterráneo. Roma al ocupar el centro geométrico entre estos dos espacios, sustituye a Delfos como capital del espíritu heleno, como “onfalos, ombligo del

naturaleza de los caminos, rutas más cortas, caminos secundarios, montañas y ríos. Se dice que los generales más grandes llevaban estas precauciones en su cabeza hasta el punto de que ordenaban la realización de planos en el lugar para poder seguir visualmente las marchas con la mayor seguridad”. Así, lo que había o sucedía lejos de donde hacían la guerra, les importaba muy poco.

¹⁶Tabula Peutingeriana completa. (A). Reproducción fiel con reconstrucción del primer segmento, según H. Miller (o Müller). (B) Interpretación moderna, contenida en el “Atlas Antiquus” Editorial de Justus Perthes. Gotha. ca. 1915. También José Antonio Monge & José Manuel Gironés, “La Tabula Peutingeriana” Revista La Aventura de la Historia, nº 59, pg.76 y sig, Septiembre 2003. Desarrolla un esquema de las calzadas que recorrían el Imperio. Dispone de una muy completa toponimia, y un cuidadoso cuadro de signos convencionales. Contiene 400 calzadas que recorrían 100.000 Km. de la impresionante red viaria romana. No era homogénea en unidades. Predominaba la milla romana “milia passum”, un millar de pasos, equivalente a 1.485 metros, amojonando los caminos con “Petrae miliarii”, piedras miliarias. Sin embargo, posiblemente por cuestiones de mayor utilidad local, se utilizaba la “parasanga” grego-persa en Oriente, equivalente a cuatro millas romanas, la “milia india” de dos millas romanas en dicho país, y la “lega” o legua, de 2.426 metros, en las provincias galas. En contrapartida a semejante detalle en vías de comunicación, es inútil buscar precisión transversal, incluso a una distancia moderada perpendicular al eje del itinerario elegido.



A



B

Figura 1.6: Tabula Peutingeriana completa

mundo”. Los límites alcanzan al oeste Iberia y las Columnas de Hércules¹⁷, hacia Oriente Antioquía, Constantinopla y las alturas de Alejandro, así como los límites del Imperio por el Norte y el Sur, cruzando el Mare Nostrum. Las tres capitales fundamentales que se destacan son, además de Roma, Constantinopla y Antioquía.

En el año 411 Alarico entra en Roma saqueándola concienzudamente. El 476 Odoacro depone a Rómulo Augústulo, último Emperador de Occidente. Los bárbaros de siempre, con la inapreciable ayuda de los inevitables grupos internos probárbaros, se afanaron por destruir aquello que ni entienden ni son capaces de recuperar.

Pero la Providencia impidió que todo fuera exterminado. Y los monjes de Cluny, en tantas abadías, sin las que es imposible explicar a Europa, aprendieron de nuevo, “orando et laborando” a leer, escribir, y copiar, sin entender todo, pero respetándolo, religiosamente. La paciencia secular de los hijos de la regla de San Benito se aplicó a rescatar lo que pudiera salvarse de los Anaximandro, Ptolomeo, Hiparco, Estrabón,y tantos otros, e hicieron posible el Renacimiento y que se vuelvan a reivindicar con orgullo los viejos nombres griegos de geómetras y geodestas, junto con la condición de miembros de la civilización judeo cristiana. Por cierto, desde siglos antes del nacimiento de Mahoma, cuyos seguidores no solo reprodujeron a Ptolomeo. También quemaron la Biblioteca de Alejandría.

Era preciso volver a empezar. Y se apeló a la concepción greco-romana del mundo, agregando a la cartografía ilustraciones bíblicas de alto valor artístico, pero carentes de significado científico o práctico. Ni tan siquiera se piensa en términos de Ingeniería Cartográfica.

El Mapamundi se conocía como Mapa “Tripartito” o de “T en O” o “Mapa de Rueda”. Fig. 1.7. Orientado hacia el Oriente, dividía al disco terrestre en tres partes, Asia ocupando el semicírculo oriental del mapa, y Europa y Africa a partes iguales el occidental, separadas por el Mar Mediterráneo, y de Asia ambas por el río Don (Tanahis) y el Nilo y el Mar Rojo formando así una T. El Mar Océano Exterior lo rodeaba todo. El modelo descrito se atribuye a otro mediterráneo, San Isidoro de Sevilla. Nuevo Salomón, según su contemporáneo San Gregorio Magno recopila a lo largo de veinte tomos en sus “Etimologías” toda la sabiduría recuperada de la Antigüedad¹⁸.

¹⁷Las Columnas de Hércules señalan el estrecho de Gibraltar. Representaban el límite del Mundo, la última frontera para los antiguos navegantes del Mediterráneo. Hasta allí se iba con relativa seguridad, nacida del conocimiento milenario. Se grafiaban con el aviso “non plus ultra”, no más allá. Porque se daba por cierta la continuidad en una extensión líquida inacabable e inabarcable, el Mar de Afuera, Mar Exterior, Mar Grande, Mar Tenebroso, etc... Hasta que los marinos más audaces, hicieron caso omiso de la advertencia, la cambiaron en “plus ultra”, más allá, y franquearon las Columnas para navegar las aguas desconocidas, respondiendo al perenne reto fáustico.

¹⁸Santo y Doctor de la Iglesia Católica. (560 – 636). Hijo de Severiano “militar de viso” o alto funcionario de la corte del rey goda Agila, que prefirió el exilio antes que la adhesión a las tropas bizantinas, que habían invadido la provincia cartaginense llamadas por el traidor noble hispano-godo Atanagildo. Establecido en Sevilla con su esposa Túrtula y sus tres hijos, Leandro, Fulgencio y Florentina, posteriormente también elevados a los altares, tuvo a su hijo Isidoro en el año 560. Isidoro sucedió a su hermano Leandro como Arzobispo de Sevilla y

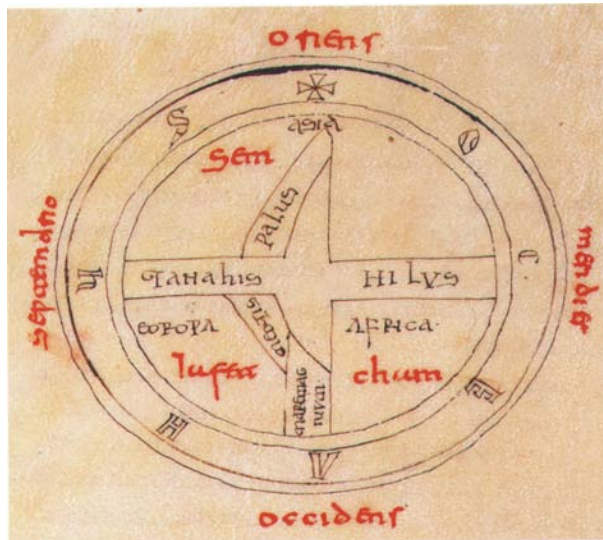


Figura 1.7: Mapa de T en O de Etymologiae. Isidorus Hispalensis S. XV. Biblioteca Nacional de Madrid.

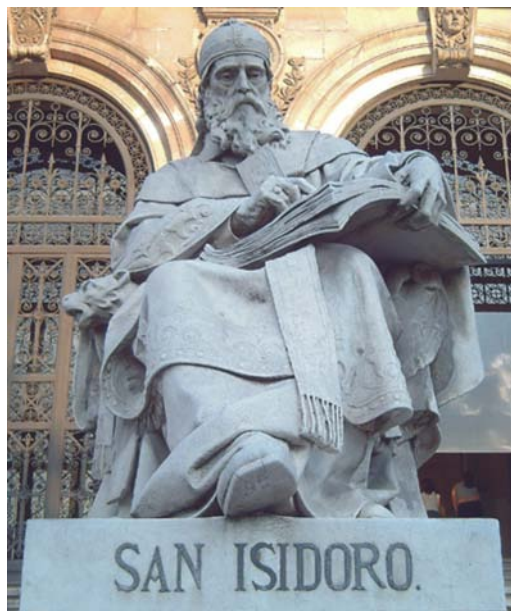


Figura 1.8: San Isidoro de Sevilla. Escalinata de entrada a la Biblioteca Nacional de Madrid.

Representa un momento histórico que define un antes y un después en Ciencias y Técnicas Cartográficas. La Cartografía Isidoriana o de influencia Isidoriana permanece vigente en toda la cristiandad hasta el siglo XIII con Alfonso X y su Escuela de Traductores de Toledo y con otras manifestaciones en distintos lugares de Europa, generalmente más descriptivas pero sin avance sensible en su valor cartográfico¹⁹. Podemos señalar a su vez la influencia no solo cartográfica sino simbólica del esquema T en O, pues llegó a reflejarse como complemento de numerosos santos, reyes, y grandes personalidades en general.

Mantuvo el sistema geocéntrico de Ptolomeo, y concibió la Tierra como una gran esfera de movimiento continuo, dividida en cuatro partes, una de las cuales se mantiene desconocida por la dificultad que supone el clima tórrido para la vida. A partir de San Isidoro de Sevilla, adquiere prioridad el círculo en la representación cartográfica, por su significación divina. Se busca explicar la tierra según la imagen que se tiene de ella en la Biblia, situando el Paraíso y los Santos Lugares. Por ello la importancia del centro del círculo es máxima, representando a Jerusalén. Conforme nos vamos alejando de su centro, nos adentramos en el mundo desconocido.

San Isidoro de Sevilla fue el primer autor cristiano occidental en hacer uso de la cartografía como una manera de ilustrar los textos a los que acompañaba para ayudar a su comprensión.

En cualquier caso y en definitiva, siguiendo las ideas de Maria José Lemarchand, “Los mapas medievales no eran proyecciones espaciales, geográficas... sino listas de topónimos reconocidos como pertenecientes a la vez a la Biblia y a

brilló en su tiempo en virtud y ciencia en forma tal que el papa San Gregorio Magno le llamó “otro Salomón” y le envió el palio que le confería jurisdicción vicaria de la Sede Apostólica sobre toda España. Presidió el IV Concilio de Toledo y el II Hispalense. Recopiló todo el saber de la época en libros como los “Sinónima”, “De regibus gothorum, vandalorum et suevorum Historia”, “De viris illustribus liber”, “De numeribus liber”, “De natura Rerum” (sobre la naturaleza de las cosas, un libro de astronomía y de historia natural dedicado al rey visigodo Sisebuto) y muchos otros. Su obra cumbre enciclopédica fue las Etimologías “Etymologiarum liber”, en veinte libros, dedicando a la Geografía y la Cartografía el XIII y el XIV con tal amplitud que dio lugar a una posterior y secular cartografía isidoriana que abarca desde el primitivo mapa del presbítero tarraconense Orosio, copiado de un manuscrito del siglo VIII y conservado en la biblioteca de Albi (Francia), hasta las primeras producciones de la escuela científica toledana de Alfonso X, bien entrado el siglo XIII. Su biógrafo Redempto narra que seis meses antes de morir y abandonándolo todo, se dedicó a la oración, limosna y penitencia pública, siendo tenido por Santo desde su muerte. Hay noticia de su culto (Martirologio de Usuardo) desde el siglo IX. En 1772 el papa Inocencio XIII le proclamó Doctor de la Iglesia Universal, con fiesta el 4 de Abril. Tradicionalmente en España se ha tenido por patrón de geógrafos, cartógrafos, e ingenieros y técnicos en dichas materias.

¹⁹Evelyn Edson “Mapping Time and Space”. Pg.116 y sig. The British Library. London. 1999. También “Mapas Antiguos del Mundo” Opus. Cit.pg. 44-45. “Historia de la Cartografía” Opus. Cit. Vv.aa. pg. 57 y sig. Son claros ejemplos los diversos Beatos (ca. Siglo XI), que contienen mapas isidorianos evolucionados a obras de arte religioso en que se incluyen además motivos legendarios y clásicos. Progresando la tendencia, en pequeña escala, mapamundi del salterio inglés (ca.1265) conservado en la British Library. En gran escala, retablo de la Catedral de Hereford, del clérigo y erudito Richard de Haldingham de Sleaford, (ca. 1290) seudocircular de 1,58 x 1,33 metros. Posiblemente basado en el perdido Mapamundi mural de Agripa que mandó construir Augusto, el cual aparece en el rincón inferior izquierdo junto con los cartógrafos autores. Más tardío el discario de la Abadía Benedictina de Ebstorf (Hannover) (ca.1339), de 3,90 metros, destruido en la II Guerra Mundial.



Figura 1.9: A la izquierda Isabel II de Inglaterra, portando un orbe isidoriano en su coronación. 3 de Junio 1953. Con la cruz sobre Occidente, explicando Europa. A la derecha esmalte del siglo XIV en la capilla real de Granada, donde aparece a los pies de Cristo el orbe tripartito.



Figura 1.10: Mapa de Beato de Burgo de Osma. 1086. Catedral de Burgo de Osma.

los lugares visitados: Los viajeros de Asia y los navegantes del siglo XVI se esforzarán en identificar en las regiones que descubren los lugares y pueblos citados en el Pentateuco o en los Profetas. Moisés es el geógrafo por excelencia”.

Así pues, hemos de entender estos mapas medievales más bien como listas de topónimos reconocidos pertenecientes a la vez a la Biblia y a los lugares visitados que había que intentar identificar sobre el terreno.

Y como final de esta ya larga introducción, solo un ejemplo. Fig.1.10. En la Catedral de Burgo de Osma se conserva un magnífico Mapamundi²⁰ T en O perteneciente a un “Beato” fechado en 1086 originario posiblemente de la Abadía de Monte Cassino y legado por un desconocido mecenas llamado “Martino”. Se representan, entre otros motivos, el Paraíso Terrenal con sus cuatro ríos, Pisón, Guijón, Tigris y Eufrates. (Génesis, 2, 10-14) en el Oriente Extremo, las imágenes de los apóstoles en sus lugares de predicación extendidos por toda la tierra, el Mar Ócéano poblado de peces y los extraños seres monópodos en el desconocido y ardiente Sur, separado del resto del mundo habitable por un grueso trazo que tal vez represente el Mar Rojo.

²⁰José Arranz Arranz. Canónigo Archivero. “Guía de la Catedral de Burgo de Osma”. Ilmo. Cabildo de la S.I. Catedral. Burgo de Osma 1978.

Capítulo 2

La Ingeniería Cartográfica Portulana. Luis Giménez Lorente, moderno investigador valenciano, sabio y mecenas. Tecnología eficiente en el Mediterráneo.

El final del siglo XIII en Europa anunciaba el Renacimiento en las orillas del Mar Latino. Progresaba aceleradamente una Náutica e Ingeniería Naval de excelente factura. Sin duda la mejor y más avanzada de la época. Su producto estrella era la nao mediterránea, el navío más marinero producido hasta el momento, que permitía, pilotando sabiamente cada vez más complicados aparejos, navegar en zig-zag, “de vuelta y vuelta”, “ciñendo el viento” o “de bolina”, que viene a ser lo mismo y casi con cualquier rumbo y viento cubrir regularmente cualquier ruta en el Mare Nostrum y aún de cabotaje oceánico. Carabela primero y galeón después, urgía cartas náuticas eficientes, con las que poner proa hacia donde fuera menester con al menos la razonable posibilidad de poder volver.

Y aparece la Carta Náutica Portulana o arrumbada, revolucionando la estancada Ingeniería Cartográfica medieval, e inclinando la balanza desde el mapa-obra de arte y narración mítica y bíblica al mapa-instrumento tecnológico. La llamada Carta Pisana (ca. 1300), Fig.2.1¹, es el portulano más antiguo que

¹vvaa. “Historia de la Cartografía”. Pg.89. Opus cit. Su nombre es debido a la procedencia del archivero que adquirió el pergamino en el año 1839. En la actualidad esta denominación está puesta en duda por los especialistas que le asignan un origen genovés. El mapa representa



Figura 2.1: Carta Pisana. Biblioteca Nacional de París.

se conserva. Escribe Carmen Liter² “El portulano es el eslabón de una larga cadena de navegaciones en un mar, el Mediterráneo, cerrado, de costas relativamente próximas, que permite cruzarlo cómodamente en todas direcciones, pero suficientemente amplio para excitar el espíritu de aventura, para constituir un desafío a mercaderes y guerreros..... los elementos de las cartas náuticas están pues heredados de tradiciones que se remontan a la más remota antigüedad Su origen es incierto, aunque debe situarse entre los siglos XII y XIII.”

Tal vez se pueda atribuir a Marino de Tiro su invención, puesto que su trabajo permitió conocer ya en detalle la costa mediterránea. O a Pomponio Mela. O a Idrisi. Es una discusión estéril. Todos son gentes de nuestra tierra y nuestro mar.

Lo cierto es que la cartografía que estudiamos tuvo su origen en el Mediterráneo, entre nosotros. Existen registros de 1270 que relatan como le fue mostrada a San Luis IX, rey de Francia, la posición de su nave cuando camino de la Octava Cruzada una tormenta dispersó la armada que conducía³. Y es lícito pensar que la demostración no provino de una carta francesa porque “en el siglo XVII la mayor parte de los barcos franceses en el Mare Nostrum carecían aún de aguja magnética”⁴. Raimon Llull se refería en sus libros⁵ a que los navegantes de su tiempo utilizaban la carta náutica, la aguja magnética o de marear, el compás, y orientaban por la estrella Polar. Y se refería fundamentalmente a

en escala muy exacta el Mediterráneo y las costas euroafricanas del Atlántico, de Marruecos a las islas Británicas. La toponimia es fundamentalmente periférica, expresada en los colores rojo y negro típicos de estas cartas.

²Carmen Liter et al. Opus cit. Pg. 18

³Ricardo Cerezo Martínez “ La Cartografía Náutica Española” pg. 27. CSIC. Madrid 1994, citando a su vez a Guillaume de Nangis. “Gesta Santi Ludovici”.

⁴Ricardo Cerezo Martínez. Opus cit. Pg. 26, citando a su vez a J. Demerliac et J. Meiral. “Hannon et l’Empire Punique.” Annexe III. Pg. 337.

⁵“Fénix de las Maravillas del Orbe”. 1286.

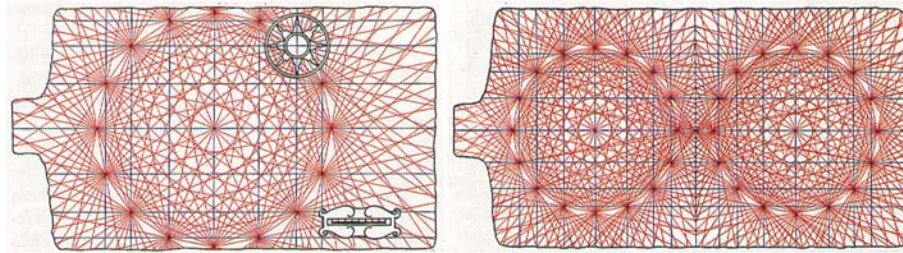


Figura 2.2: Esquema de “tela de araña” portulana de una y dos directrices.

barcos portugueses, españoles o italianos.

El portulano se dibujaba generalmente sobre una vitela o pergamino muy fino, empleando la piel entera de un cordero o ternero con el cuello del animal hacia la izquierda. Ocasionalmente se empalmaban dos o más para formar mapas extensos o atlas. Se construían por rumbos de brújula y distancias a estima “del ojo de un buen marinero”. Se radiaban desde uno o dos, muy raramente tres centros de la o las llamadas circunferencias directrices, u ombligos, señalando en ellas un polígono regular, generalmente de 16 vértices. Cada uno de ellos se tomaba como centro de proyección de rosas de 32 rumbos y el resultado o “tela de araña” es en buena doctrina geométrica una homografía entre las figuras de la segunda categoría “conforme” o isogonal, en la que los rumbos medidos en la realidad se conservan iguales a sus homólogos en la carta, permitiendo trazar y seguir derrotas y definiendo al portulano como carta de navegación. Todos están anortados. No se tiene en cuenta la esfericidad de la tierra por lo que la carta es “plana”. Para trazar una derrota bastaba la regla y el compás de navegación o “de puntas”. Fig.2.3. Como el veterano de bronce del siglo XVI, que sirvió en el galeón Ntra. Sra. de Atocha por la Ruta de Indias. La regla se sitúa entre A, puerto de partida, y B de arribada. El compás con su apertura normal a la regla, una punta sobre ésta y otra en C sobre la rosa más cercana. Conservando la perpendicularidad, al deslizar la punta sobre la regla señalando la derrota la otra identifica el rumbo con el viento más próximo de la rosa, aproximado en menos de “la cuarta de viento” o ángulo de dos vientos contiguos. Es decir, $11^{\circ}15'$.

Sin embargo, otra cosa muy distinta era que los vientos contrarios, las corrientes marinas y los meteoros atmosféricos entre otro sinfín de problemas dificultaran invariablemente la navegación, hasta transformarla en una aventura con riesgo de vida que demandaban profesionales del mar que unían a sus vastos conocimientos de náutica un instinto, fortaleza, valor y presencia de ánimo muy especiales. Por ello los capitanes de barco y pilotos de altura eran tal vez los profesionales mejor retribuidos y considerados de la época. Los gobiernos de las naciones y las grandes sociedades navieras que ya empezaban a surgir competían duramente por contratar los servicios de quienes fueran capaces en plazo previsto de rendir largos viajes con éxito, sanos y salvos de carga, tripulación y pasaje.

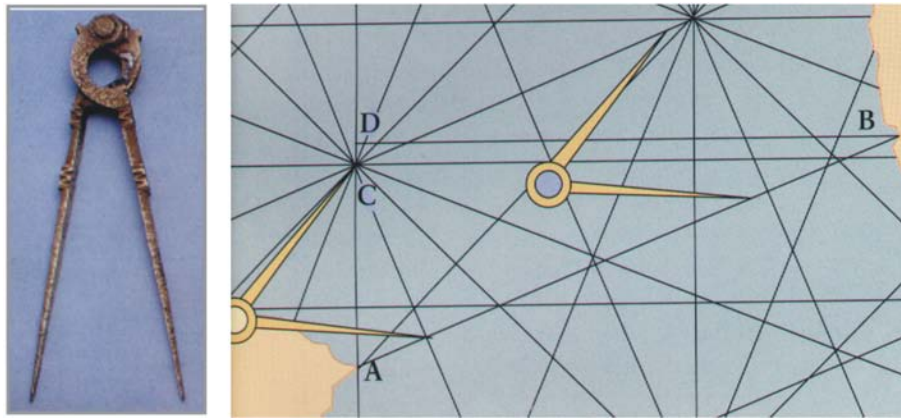


Figura 2.3: Compás de Navegación y trazado de derrota sobre un portulano

Se pilotaba asistiéndose con la documentación e instrumentos usuales cuyo conjunto se denominó en ocasiones “razón, tablas y toleta de Marteloio”, pero eso es ya otra historia que excede de estas páginas.⁶ Sabemos que el enunciado del problema es simple: se trata de aprovechar al límite la componente del vector viento real sobre el rumbo teórico óptimo y, utilizando cuantos medios sean asequibles, avanzar en zig-zag hacia el destino fijado. Su resolución, compleja y arriesgada, pero factible. En la época que contemplamos no se pedía ni esperaba más.

Buena parte del éxito del viaje estaba ligada a los resultados de la estima acerca del punto en que se encuentra el buque y la distancia recorrida a partir de él por un determinado rumbo. Para ello era preciso en primer lugar medir el tiempo, y de ahí la necesidad de emplear la ampolleta o reloj de arena, y la corredera para determinar la velocidad del barco.

Conocer la velocidad del barco era esencial para determinar lo que “alargaba” o “avanzaba” en su navegación. Para ello se usaba la ampolla o reloj de arena y la corredera, descrita por primera vez en 1574 por William Bourne, aunque en el Mediterráneo se utilizaba desde tiempo inmemorial. Servía para medir la velocidad de la nave, desde la que se soltaba un cabo con un flotador al extremo. El principio operativo es muy simple. El flotador queda aproximadamente fijo en el lugar de caída y desde a bordo se larga el cabo o cable de la corredera durante un tiempo prefijado medido por la ampolla. Recogido el cabo, su longitud era lo que había andado el barco en el tiempo indicado. Determinada así la velocidad es trivial deducir la distancia recorrida. En la práctica se actuaba de la siguiente manera.

La corredera se compone de barquilla (flotador), un cabo marcado (marca y nudos) y un carrete que, fijo al barco, permite soltar todo el cabo necesario.

⁶Ver si se desea ampliar conocimientos cualquier manual de historia de la náutica. Por ejemplo, Manuel Sellés, “Instrumentos de Navegación del Mediterráneo al Pacífico”.Pg. 30 y sig., Lunweg Editores. Madrid 1994).



Figura 2.4: Corredera y reloj de ampolla de medio minuto.

La barquilla es un flotador de madera de forma triangular lastrada que se lanza al agua. Esta pieza, debido a su resistencia al agua, hace que se desenrolle el cabo sujeto a la nave. Este último lleva varias señales, la primera de ellas se llama marca y se encuentra a una distancia de la barquilla que es igual a la longitud del navío. Tras la marca vienen los nudos, con una distancia de 15,43 metros entre sí (una milla marina, es decir, 1.852 metros, longitud rectificada de 1' de arco en el Ecuador divididos por 120). Una hora dividida entre 120 son 30 segundos: de este modo, la cantidad de nudos contados en medio minuto es equivalente a la cantidad de millas marinas navegadas por hora. Efectivamente, se tiene:

$$\begin{aligned}
 \text{velocidad} = v &= \frac{e}{t} = \frac{\text{long.cabo alargado en } \frac{1}{120} \text{ hora}}{\frac{1}{120} \text{ hora}} = \\
 &= \frac{''n'' \text{ nudos } \frac{1}{120} \text{ milla}}{\frac{1}{120} \text{ hora}} = \frac{''n'' \text{ millas}}{\text{hora}} \langle \rangle n \text{ nudos}
 \end{aligned}$$

Además de la ampolla y corredera, el piloto se servía de una panoplia de instrumentos de ayuda a la navegación que le permitía cumplir eficazmente su cometido. Antes de la invención del anteojo y su aplicación náutica en sextantes y otros aparatos calificables ya de modernos, cualquier barco cristiano mediterráneo disponía a lo menos de brújula o compás de marear para fijar el rumbo, astrolabio y quizás ballestilla para medir alturas de estrellas y del sol y fijar la

posición, muy aproximadamente en latitud y con mayor dificultad en longitud.⁷

Raimon Llull se refería en sus libros⁸ a que los navegantes de su tiempo utilizaban la carta náutica: charta, la aguja magnética o de marear: acum, el compás: compassum, y orientaban por la estrella Polar: stella maris, conociendo la ascensión recta de la Osa Menor, distante del Polo alrededor de tres grados en el siglo XVI. Y se refería fundamentalmente a barcos portugueses, españoles o italianos.

Pigaffeta en su libro “Noticia del primer viaje en torno al mundo”⁹ cuenta que el instrumental de navegación inventariado de las naos constaba de:

- 23 Cartas de marear hechas por Nuño García
- 6 pares de compases
- 21 cuadrantes de madera
- 6 Astrolabios de metal
- 1 Astrolabio de madera
- 35 agujas de marear
- 4 cajas grandes para cuatro agujas
- 18 relojes de arena.

Llama la atención que no mencionara la ballestilla. En cualquier caso supone la mejor dotación técnicamente asequible en su época.

En 1208, Guiot de Provins mencionó la aguja magnética en su poema “La Bible”. Casi un siglo después, en 1295, Raimon Llull escribe “Ars Magna” y la menciona también.

En los primeros tiempos se la llamó calamina, por la aleación de hierro con la que se construía la aguja imantada, luego se popularizó con el nombre siciliano de “bussola”, que significa cajita de boj, porque la caja redonda que la protegía se hacía de esta madera. Más tarde se puso en un receptáculo inmediato al timón, que se llamó bitácora (del francés “bitacle”, abreviatura de “habitacle”).

A principios del siglo XIII su uso era general en los navegantes del Mediterráneo Occidental. Se atribuye a un marino de Amalfi, llamado Flavio Gioja la idea de colocar bajo la aguja una rosa náutica para determinar los rumbos, en la que rotulaban los nombres de los vientos. En el mediterráneo occidental los nombres más frecuentes eran: el Norte (Tramontana, representado por la flor

⁷ Realmente, el problema de la determinación de la longitud a bordo no empezó a resolverse satisfactoriamente hasta la aparición de los primeros cronómetros marinos Harrison en la Inglaterra de finales del siglo XVIII.

⁸ “Fénix de las Maravillas del Orbe”. 1286.

⁹ Antonio Pigaffeta vino a España en 1519. Embarcó en Sevilla como sobresaliente en la flota de Magallanes en agosto del mismo año. Redactó una Relación con todo lo ocurrido durante la travesía, aportando entre otros el dato exacto de los supervivientes de esa primera expedición alrededor del mundo, 18 de los 365 que habían embarcado y navegado durante casi tres años.



Figura 2.5: Compás con la rosa de los vientos al estilo mediterráneo o de las galeras y compás con la rosa de los vientos al estilo atlántico o de las naos

de lis, símbolo de Francia); el Este (Oriente o Levante) con una cruz por ser la dirección de Tierra Santa; el Sur con la A de Austro, a veces O (Ostro): el Oeste con la P de Poniente. Los vientos intermedios eran locales, Greco de Grecia, para el Noreste; Siroco de Siria para el sureste; Lebeche de Libia, y Mistral para el Noroeste. Los vientos recibían su nombre de las regiones o países de los que procedían. El conocimiento de los principales vientos¹⁰ era de gran importancia tanto porque impulsaban a los barcos como porque estaban relacionados directamente con el clima.

Cuando empezaron a usarse las brújulas en el Atlántico, estos nombres carecieron de sentido y empezaron a usarse los puntos cardinales, inventando los intermedios y los de éstos, hasta llegar a las denominaciones de las cuartas.

Un dispositivo adicional muy importante fue el aportado por el italiano Jerónimo Cardano (1501-1576), inventor del sistema de suspensión que lleva su nombre, que evita que las oscilaciones del barco perturben el funcionamiento de la aguja. La suspensión cardán consistía en dos anillos concéntricos, el primero tenía un eje de giro respecto a la caja que protege a la aguja imantada y el otro un eje de giro perpendicular respecto al primero.

Los pilotos realmente expertos conocían la ballestilla, Fig.2.6, también llamado báculo de Jacob por su más probable inventor Jacob ben Fakir, que lo ideó en el siglo XIII. Otros autores se inclinan por el judío provenzal Leví Ben Gerson en el siglo XIV como autor de la primera ballestilla utilizable en mar y tierra. Su uso se generalizó a principios del siglo XVI, en los navíos portuque-

¹⁰El éxito de Colón se basa en su capacidad para determinar que el viaje de ida, hacia la desconocida América, se debía hacer partiendo de las Canarias. En 1487 una expedición portuguesa, cuyo objetivo era buscar la mítica Antilia, había zarpado en dirección occidental desde las Azores, y, nunca más se supo de ella. La contrariedad de los vientos de aquellas latitudes, para los viajes de ida, convertía la empresa en prácticamente imposible. Sin embargo los mismos vientos, los vientos del oeste, facilitaban el regreso. Colón decidió salir del sur, desde las islas Canarias, para evitarlos en el viaje de ida, pero fue a su encuentro para regresar.

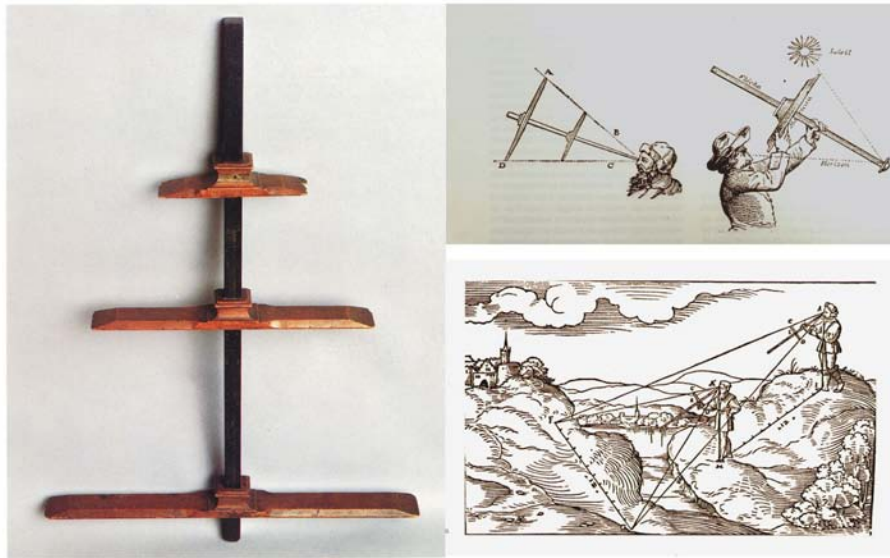


Figura 2.6: Izquierda. Ballestilla del Museo Marítimo de Barcelona. Derecha, dos modos de empleo: Arriba, toma de posición con visuales directas a la estrella y al horizonte, e indirecta al sol por sombra del extremo de la traviesa y visual directa al horizonte. Abajo, trabajo topográfico en tierra.

ses y españoles. Según Rey Pastor fue el antecedente directo del sextante. Se compone de una regla de sección graduada, hecha generalmente en ébano y llamada flecha, radio, verga o virote, a lo largo de la cual se desliza, formando una perpendicular a manera de cruz, otra pieza llamada sonaja o martinete. Se utilizaba por los pilotos hasta fines del siglo XVIII, aplicando el ojo a la flecha y haciendo coincidir los bordes de la sonaja con el horizonte y el astro, cuya altura se observaba, obteniendo así los datos numéricos correspondientes gracias a la graduación de la flecha. Era un instrumento utilizado en tierra por astrónomos y topógrafos, pues puede medir tanto ángulos verticales o de altura como horizontales. Permite visuales al sol sin observarlo directamente mediante una pieza perforada en el extremo del radio. El observador se sitúa de espaldas al sol y deja que la sombra del martinete caiga sobre la pieza perforada. Al mismo tiempo busca una visual del horizonte a través de la perforación de la pieza, moviendo el martinete.

El astrolabio náutico¹¹, Fig.2.7, es un instrumento mucho más simple que el

¹¹"El que quiera tomar el sol con el astrolabio en la mar, se asentará y pondrá cerca del mástil mayor, que es donde la nave da menos vaivenes y está más quieta, y colgando el dedo segundo de la mano derecha de su anillo, pondrá el rostro y el astrolabio frontero del sol derechamente y conocerá que está por la sombra que el sol, y alzará o bajará el penicidío (alidada) hasta que entre el sol por los dos agujeros de las pínulas y estando así tomará del astrolabio los grados que muestre la punta del penicidío, y hará por ellos las cuentas según las reglas". Dr.García de Palacio. "Instrucción Náutica para navegar". Méjico, 1587.

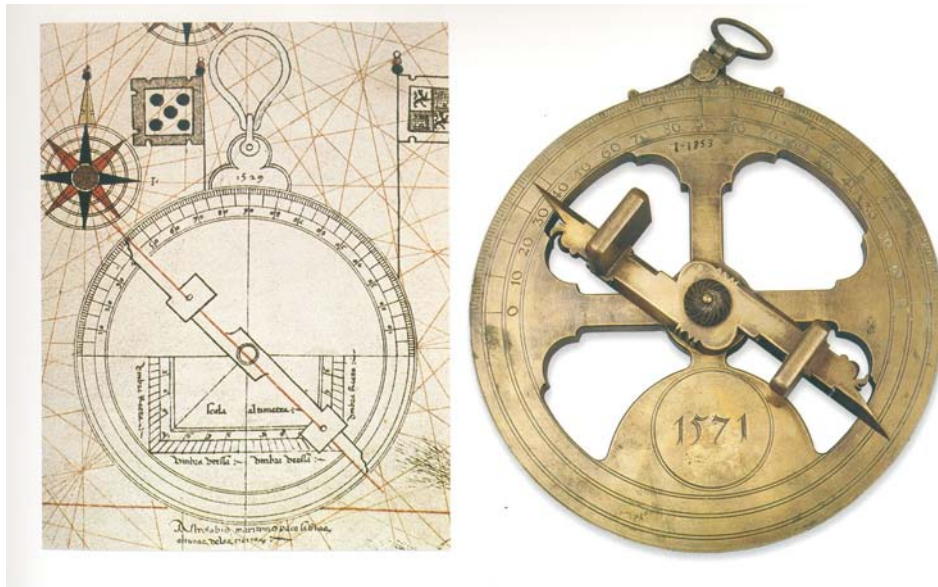


Figura 2.7: Astrolabio náutico de 1571. Réplica moderna. ca.1853. Museo Naval, Madrid.

astrolabio astronómico, ya que su objetivo queda reducido a tomar alturas de los astros, habiendo sido utilizados exclusivamente por los navegantes. Fundamentalmente es un círculo de bronce o latón, aunque también los hubo de madera, atravesado por cuatro radios, situados a 90° uno del otro. La intersección con el círculo del radio situado en los 180° , tiene una mayor masa del material en el que se ha construido el astrolabio, para que haga el efecto plomada y disminuir la oscilación que el viento o el movimiento del buque puedan imprimirle. El diámetro vertical representa la línea zénit-nádir y el horizontal la línea del horizonte. En esta línea está situado el grado cero, correspondiendo el grado 90 al zénit. Los portugueses prefirieron situar los 90° en la línea del horizonte, con lo que la cifra señalada por la alidada o medeclina indicaba distancias cenitales en lugar de alturas; de este modo se ahorraba la operación de la resta. Dispone además de una anilla o "colgadero" para introducir por ella un dedo y sustentar el astrolabio.

El astrolabio, ya descrito en 1295 por Raimundo Lulio, como instrumento habitual entre los marinos mallorquines, se construía también en otra forma más evolucionada llamada nocturlabio¹². En definitiva, la tecnología mediterránea

¹²Raimundo Lulio llamó a este instrumento *Astrolabiis nocturnus* y *Sphaera horarum noctis*. Es una versión especializada del astrolabio que sirve para un determinado catálogo de estrellas. Para utilizarlo hay que centrar el instrumento mediante la Estrella Polar, por el agujero central. Este instrumento fue de gran utilidad para los navegantes medievales y los de la época colombina. Posteriormente su uso se generalizó en los siglos XVI y XVII. Consta de dos caras con las que se obtiene la hora nocturna, la corrección a la altura de la estrella polar

del siglo XIII en Ingeniería Naval, Cartográfica e Instrumental de aplicación era sin duda la más avanzada de su tiempo y siguió siéndolo durante cerca de tres siglos. Sus frutos fueron por consiguiente tan inevitables como indiscutibles. Los portulanos se solían levantar desde el mar por un ingenioso procedimiento, geoméricamente irreprochable, cuya toma de datos consistía básicamente en bordear la costa tomando orientaciones con brújula desde puntos separados por distancias conocidas, determinadas a estima o mejor, con ampolla y corredera. Así resultaba una metodología bien conocida, aplicación del método de poligonación con determinación de puntos destacados por reiteración de intersecciones directas, que requería por parte del piloto de la nave y su equipo de geómetras un nivel de técnica, destreza y “ojo de buen mariner” de primera magnitud. Todo el conjunto metodológico y operativo acostumbraba a denominarse “Raxón de Marteloio”, vocablo de etimología mal conocida. Posiblemente derivada del italiano de la época “Mare telare”, telar del mar, relacionado con la “tela de araña” antes mencionada. El método fue adoptado por todas las naciones marítimas de Occidente, como se recoge claramente en la Fig. 2.8, tomada del “Atlas de viaje”, de Sir Francis Drake, que levantaba excelentes portulanos en las Antillas entre piratería y piratería.¹³ El resultado era un producto cartográfico que facilitaba un conocimiento estructural y métrico de la costa, objetivo esencial de una carta de navegación, que alcanzaba para cualquier operación de pilotaje un rigor y precisión técnicos más que satisfactorios, rayando en lo sorprendente. Más adelante volveremos sobre lo expuesto en un estudio técnico y cifrado de detalle.

Las antiguas cartas y mapas portulanos mediterráneos eran y son una obra de arte y un prodigio de sencillez y precisión. Espléndida muestra de arte y tecnología irreprochable para su tiempo. Portulanos de procedencia, Valenciana, Mallorquina, Catalana, Genovesa, Veneciana...

A título indicativo, después de la Carta Pisana y coetáneo con ella, aparece el Atlas de Luxoro, en Génova. Poco después, hacia 1315 y también en Génova, el de Petrus Vesconte. Angelino Dulcert en 1339 en Mallorca. También la saga mallorquina de los Cresques, iniciada con Abraham y Jafuda, con su extraordinario “Atlas Catalán”. En el siglo XV hacia 1413 el mallorquín (o tal vez valenciano) Joan Viladestes. Los italianos Giroladis, Versi, Battista, Becario, Bianco ... entre 1422 y 1448. El mallorquín Gabriel de Valseca en 1439. Roselli, Paretto, Benincasa... por los mismos años. Y en el siglo XVI aumenta la lista, especialmente en talleres ya consagrados en generaciones anteriores. Así, los mallorquines Oliva, Martines (quizás de origen valenciano), Lloret, Piris, Ferrer, Soler... y tantos más.

Sus artífices fueron gentes de raza judía, conversos y no conversos, súbditos mayoritariamente de la Corona Española y españoles todos del arco Mediterráneo que se inicia en Génova y llega a Andalucía, con una muy especial concentración en las Islas Baleares. Y más concretamente, en Mallorca, donde se

para calcular la latitud y calcular la pleamar más próxima en función de la fase lunar. Ver M. Chueca et al. “Compendio...” Opus. Cit. pg.176 y sig.

¹³Abdelouhab, Farid “Cuadernos de Viaje” pg. 10. Editorial Planeta S.A. Barcelona 2006.

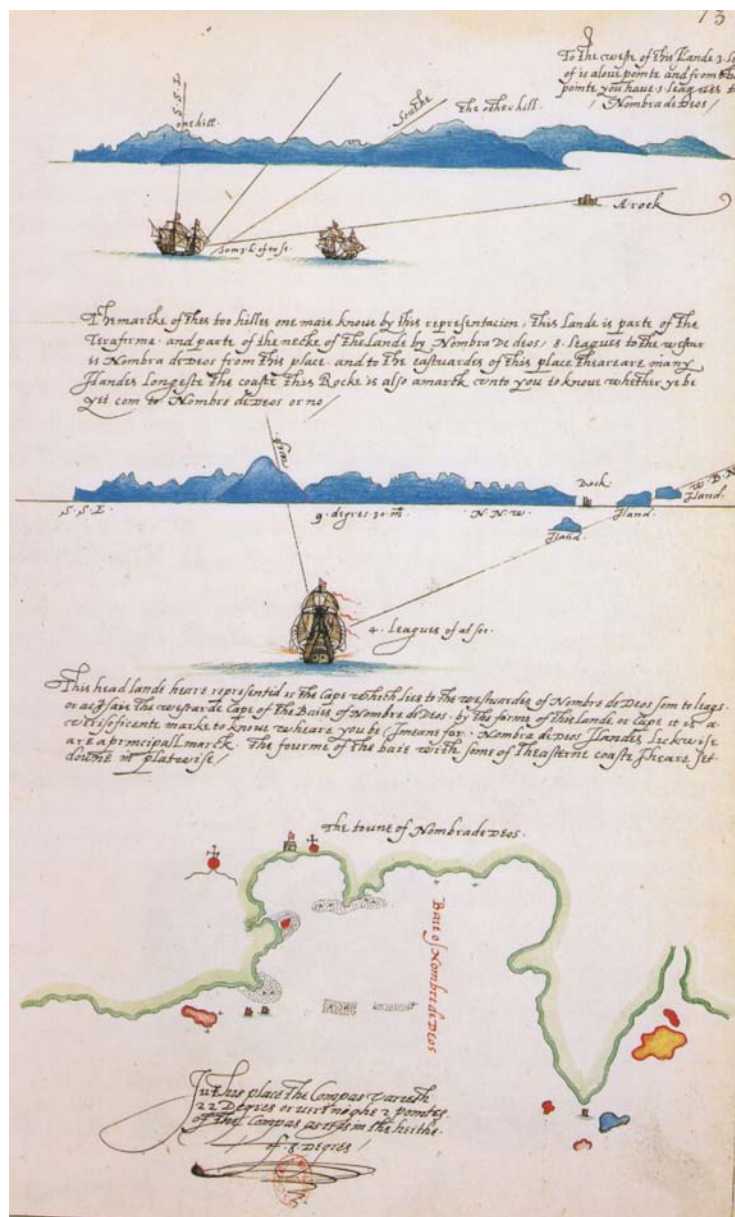


Figura 2.8: Toma de datos para levantamiento de un portulano en las Antillas, Francis Drake ca. 1580.

formó y floreció la “Escuela Cartográfica Mallorquina”¹⁴, posiblemente la más avanzada de su tiempo,... hasta la obligada expulsión y diáspora a caballo entre los siglos XV y XVI. En un último esfuerzo de permanencia buena parte de los ingenieros cartógrafos judíos españoles se refugiaron en la más acogedora y liberal tierra de Flandes, solo teóricamente aún parte de España. Fue una decisión política que podrá contemplarse quizás desde otros aspectos pero que literalmente trituró la hasta entonces sólida, estructurada y brillante Ingeniería Cartográfica Española reduciéndola de un solo golpe a una situación de pura menesterosidad y dependencia foránea.

Posteriormente, las Paces de Westfalia (1648) y Ryswick (1693) trajeron como consecuencia la independencia de los Países Bajos y el réquiem cartográfico final, con efecto hasta fines del siglo XIX. Como siempre, salvando brillantes excepciones entre las que figuran un buen número de personalidades valencianas, algunas de las cuales pretendemos destacar en las páginas siguientes¹⁵.

Los portulanos-instrumento de trabajo se han perdido seguramente todos. Viajeros permanentes y obligados a lo largo y ancho del Mare Nostrum y más allá de él, la dureza del uso diario por unas manos recias y la exposición a la agresiva intemperie en un ambiente permanentemente húmedo con toda clase de inclemencias y cambios meteorológicos acabó con ellos. Respondieron a la urgencia social de una sociedad en acelerado progreso mercantil y técnico. No fueron producto de la idea genial de una sola persona, sino el resultado del esfuerzo conjunto de multitud de estudiosos y técnicos en diversas disciplinas, matemáticos, geómetras, astrónomos, geógrafos, instrumentistas, historiadores, y tantos otros profesionales construyendo sobre una tradición muy sólida, y avanzando en una misma dirección. Su utilidad fue contrastada de inmediato y su empleo se extendió de tal manera que las naves de Pedro III de Aragón llevaban obligatoriamente dos cartas náuticas, documentos esenciales para emprender el viaje¹⁶. Y la sustracción o deterioro malicioso era castigado muy duramente. Más de un osado hallado culpable fue clavado por la mano derecha a un mástil del navío.

Es más que probable que los ejemplares que han llegado hasta nosotros no navegaran jamás en ruta de trabajo porque su desaparición o deterioro hubiera

¹⁴Existe abundantísima bibliografía sobre el tema. Es preceptivo citar al famoso matemático Julio Rey Pastor “La Ciencia y la Técnica en el Descubrimiento de América” Colección Austral. Espasa Calpe. Buenos Aires, 1945. Julio Rey Pastor y Ernesto García Camarero “La Cartografía Mallorquina” CSIC. Instituto Luis Vives. Madrid 1960. Y entre las muchas publicaciones más modernas, la muy reciente de Antoni Ginard Bujosa “La Cartografía Mallorquina”. J.J. de Olaneta, Editor. Palma de Mallorca. 2006.

¹⁵Y como en muchos otros temas, procede citar en primer lugar a Juan Luis Vives, en su exilio interior de Lovaina, que hacia 1530 no era ajeno a la situación académica de la Universidad española y escribía y prescribía en “De tradendis disciplinis”: “El alumno debe leer a Estrabón, que escribió una descripción del Mundo y dio su Historia al mismo tiempo. Que examine también los mapas de Ptolomeo si puede conseguir una edición corregida. Que le añada los descubrimientos de nuestros compatriotas sobre los límites Este y Oeste ...”. A otros pensadores europeos les hicieron más caso en sus países de origen.

¹⁶“Portolans procedents de colleccions espanyoles. Segles XV-XVII”. Institut Cartogràfic de Catalunya. Generalitat de Catalunya. Barcelona, 1995.Pag. 12 .El cancionero popular de la añora y estima: “Perduda, l’havem perduda, la carta de navegar; sis mesos anam per aigua sense mai terra trobar”

sido inevitable. Y posiblemente los que sí se utilizaban tampoco estarían tan bien terminados como los que conservamos, dedicados seguramente a permanecer en bibliotecas y archivos oficiales o de gente principal. Pero básicamente todos eran lo mismo. De entre todos los disponibles destacaremos solamente dos y razonaremos por qué : El Atlas Portulano de Joan Martines fechado en 1570 y el Mapamundi de Gabriel de Valseca de 1439. Para un investigador o simplemente estudioso de la Historia de la Cartografía y la Ingeniería Cartográfica descubrir un portulano es la culminación suprema con la que ni siquiera se atreve a soñar. Pues eso precisamente le sucedió al erudito investigador valenciano Luis Giménez Lorente.¹⁷ En 1987 llegó a sus manos un Atlas manuscrito inédito, firmado por Joan Martines en Messina, año 1570 y formado por un Mapamundi y cuatro portulanos sobre vitela con profusión de colores, miniado en oro y plata y de bellísima ejecución. Hasta el momento en el mundo se conocían dos Atlas de dicho autor, cartógrafo oficial de Felipe II. Uno, fechado en 1577, propiedad de la Casa de Alba. Otro, de 1587, en la Biblioteca Nacional de Madrid. Tras años de investigaciones y estudios, con la colaboración del Doctor Antonio Imbessi, Vicerrector de la Universidad de Messina, consigue superar positivamente todos los requisitos exigidos para garantizar la autenticidad del descubrimiento. El Atlas se presenta en 1989 en las Jornadas de Cartografía Histórica de Madrid. Meses más tarde se difunde mundialmente al ser publicado en la revista inglesa que edita la International Map Collector's Society. Promueve y financia una edición facsímil de alta calidad que se presenta en 1994 en el Museo Naval de Madrid. El original en 2002 es declarado Bien de Interés Cultural y a través del Patrimonio Bibliográfico Nacional adquirido por la Biblioteca Nacional de Madrid, evitando así cualquier riesgo de salida de España. En junio de 2003 dona la totalidad de sus fondos bibliocartográficos a la Universidad Politécnica de Valencia, Escuela de Ingeniería Geodésica, Cartográfica y Topográfica, en cuyos locales se erige la Fundación que lleva su nombre en un acto de mecenazgo que permite disponer en Valencia de un lugar de encuentro para estudiosos e investigadores de la Cartografía e Ingeniería Cartográfica Histórica del más alto nivel. Solamente su Colección Valencia, hoy rigurosamente documentada y digitalizada, es referente obligado para el estudio de la Cartografía e Historia de Valencia de los siglos XVI al XVIII. La Universidad Politécnica le nombra Doctor Honoris Causa en Diciembre de 2003.

Sería bueno recordar que forma parte de la más acendrada Tradición de las grandes Universidades de nuestra Civilización Occidental que se caractericen por lo que podemos llamar lujos, generalmente fruto de actos de noble mecenazgo como el que nos ocupa. Y que no son en modo alguno inútiles, sino,

¹⁷Luis Giménez Lorente (Valencia, 20 Enero 1920 – 24 Abril 2006). Licenciado en Farmacia, Doctor Honoris Causa por la Universidad Politécnica de Valencia, Erudito de curiosidad renacentista, Investigador durante más de 50 años en Cartografía Histórica, miembro de las más importantes Sociedades Cartográficas Mundiales, entre otras la International Map Collector's Society, cuyo Symposium Internacional de 1992 presidió en Madrid, Mecenazas universitario en su más noble sentido. Primer Presidente de la Fundación que lleva su nombre, adscrita a la Universidad citada, a la que donó sus fondos bibliocartográficos, entre los que se cuentan 25 Atlas, 100 Mapamundis, 170 Mapas Impresos, 80 Cartas Náuticas, 1000 grabados, libros especializados, láminas, farmacopeas, etc... .



Figura 2.9: Excmo.Sr.D. Luis Giménez Lorente. Doctor Honoris Causa en Ingeniería Geodésica y Cartográfica por la Universidad Politécnica de Valencia.

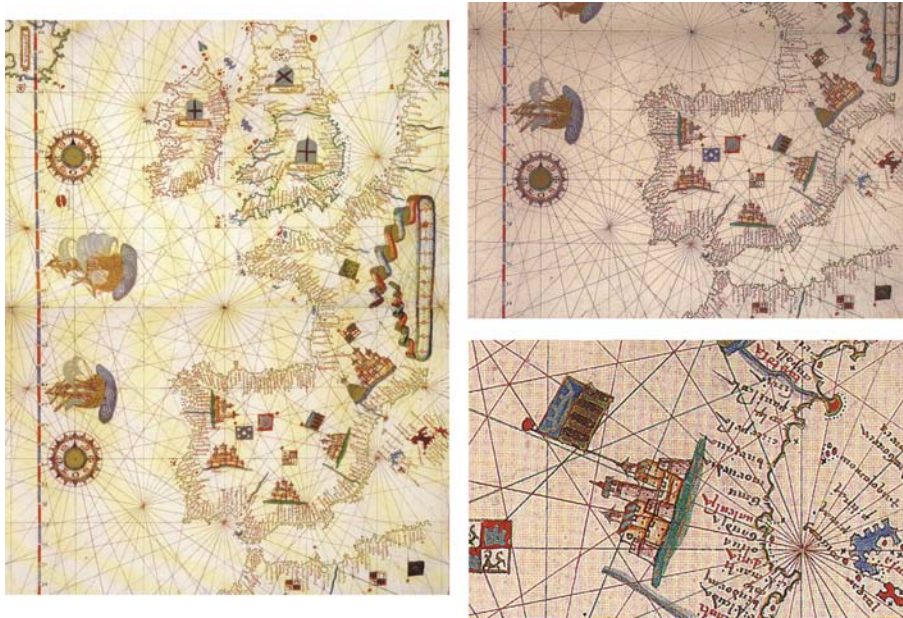


Figura 2.10: Atlas de Joan Martines. 1570. Portulano de dos directrices .Izqda. Mediterráneo Occidental. Dcha. Arriba. Detalle Península Ibérica. Dcha. Abajo. Detalle costa de Valencia.

fundamentales. Porque un Ingeniero en Geodesia y Cartografía que ha visto y sabe apreciar una carta portulana del siglo XVI es capaz de profundizar con mucho más rigor que otro que no puede hacerlo, en la más vanguardista cuestión geodésica que pueda presentarse. Por todo ello, el doctor Giménez Lorente, sin que ello signifique orden de prelación, pero con todo merecimiento forma parte de las páginas de la Ingeniería Cartográfica Valenciana que titulan este trabajo. Fig.2.9.

Por cierto que Joan Martines, nacido en Messina de padres judíos conversos podía además ser de ascendencia valenciana. O al menos estar muy al corriente de la historia del Antiguo Reino. Puede verse, en Fig.2.10 una ampliación de nuestra costa. Efectivamente, está rotulado por la real señera, coronada y con franja azul. La fecha del Atlas, recordemos, 1570. Otra buena razón para citarlo.

En otro orden de ideas, los portulanos, construidos según hemos visto por rumbos de brújula y distancias generalmente a estima “del ojo de un buen marinero”, solo representaban el litoral, con escasos detalles del interior y limitados a accidentes geográficos, ríos, montañas, poblaciones, que pudieran servir de referencia al navegante. La toponimia se rotulaba perpendicularmente a la línea de costa lo que facilitaba su lectura seguida girando el mapa. Su característica trama o urdimbre de referencia era la red de líneas de rumbos o “vientos” que los cruzan en todas direcciones, formando lo que se denomina “tela de araña” desde uno o más orígenes de radiación determinados dando lugar a las antes

citadas circunferencias directrices y rosas de vientos. Se representaba una red auxiliar de rectas paralelas para trazar los rumbos o derrotas. Una escala lineal o “tronco de leguas” permitía medir distancias. Todos están anortados¹⁸.

El caso es que, la precisión alcanzada con métodos tan aparentemente toscos fue asombrosa, llegando a pensarse modernamente que encerraban una cierta proyección cartográfica, a priori increíble en una carta plana. La tozuda realidad se impone, demostrando que podían soportar con garbo, sobre todo en el Mediterráneo, la superposición de una carta moderna corregida de proyección y escala. Véase el resultado en la Fig.2.11, referida al portulano de Gabriel de Valseca (1439) que es el segundo ejemplo que proponemos a continuación.

En el XII Congreso Internacional de Historia de la Cartografía celebrado en París en Septiembre de 1987, el profesor Peter Mesenburg, del Instituto de Geodesia de la Universidad GH Essen presentó una importante comunicación, titulada “Géometrie et affinité” en la que llegaba a la conclusión de que todos los portulanos derivaban de un original común, de llamativa precisión, inexplicable sin una base inicial de cálculo y levantamiento geodésico. Y agregaba más, afirmando que probablemente hacia 1300 ya se utilizaba, mucho antes de Mercator, una proyección cilíndrica oblicua conforme, con la que se había trazado dicho tipo de cartografía.

El sabio cartógrafo y coronel de Artillería Angel Paladini Cuadrado¹⁹, com-

¹⁸Un método de trazado muy común consistía en dibujar la o las circunferencias directrices, de centro y radio adoptados a priori de forma pseudoarbitraria, “a conocimiento e instinto de cartógrafo experto”, señalando en ellas un polígono regular, generalmente de 16 vértices. Cada uno de ellos se tomaba como centro de proyección y el resultado o “tela de araña” es en realidad y buena doctrina geométrica una homografía, o proyectividad compleja entre las figuras de la segunda categoría. Sin entrar en más detalles, la transformación geométrica referenciada es “conforme” o isogonal, conservando los ángulos. Es decir que los rumbos medidos en la realidad se conservan iguales a sus homólogos en la carta, lo que permite trazar y seguir derrotas con ella. Es lo que define al portulano como carta de navegación. Incidentalmente, las “rosas de vientos” se situaban según criterios específicos de ayuda a la navegación. Ricardo Cerezo Martínez “La Cartografía Náutica Española” Opus cit. Pg. 30 y sig escribe “...La presencia de multitud de haces radiales de líneas entrecruzadas en las cartas portulanas dificulta la comprensión de la base geométrica de su trazado y llama en ellas la atención la aparente falta de un sistema de coordenadas indicadoras de la orientación geográfica. Sin embargo, todas tienen como referencia orientadora de la geografía representada la dirección del norte – del norte de la aguja – representada por el rumbo que las cruza ortogonalmente de arriba a abajo, irradiado de la rosa de los vientos que ocupa la parte central de la carta, denominada “ombligo”; las cartas que tienen dos ombligos presentan sendos vientos trazados de Norte a Sur. Desde el ombligo parten 32 vientos o rumbos de los que 16 contienen otros tantos puntos -“nudos” o “vértices”- situados a una misma distancia del ombligo formando todos una “circunferencia directriz” que encuadra la extensión principal de la región geográfica que se quiere representar. De cada nudo o vértice salen otros 32 vientos que con los anteriores forman el conjunto de líneas entrecruzadas que constituyen una “tela de araña” en la que radica el “secret” de la isogonalidad de la carta y su aptitud para la navegación a estima, ya que cada lugar geográfico representado se sitúa sobre una recta paralela a algunos de los rumbos que constituyen la tela de araña. En algunas cartas, uno o varios nudos se representan con rosas de vientos. Si la carta tiene dos ombligos son dos las circunferencias directrices, como sucede en la Pisana y la de Juan de la Cosa. Excepcionalmente pueden ser tres, como en la carta mapamundi de Sancho Gutiérrez de 1551.”

¹⁹Angel Paladini Cuadrado “Sobre la génesis de los portulanos”. Artículo publicado en el “Boletín de información del servicio Geográfico del Ejército”, nº 76, segundo semestre de 1993.

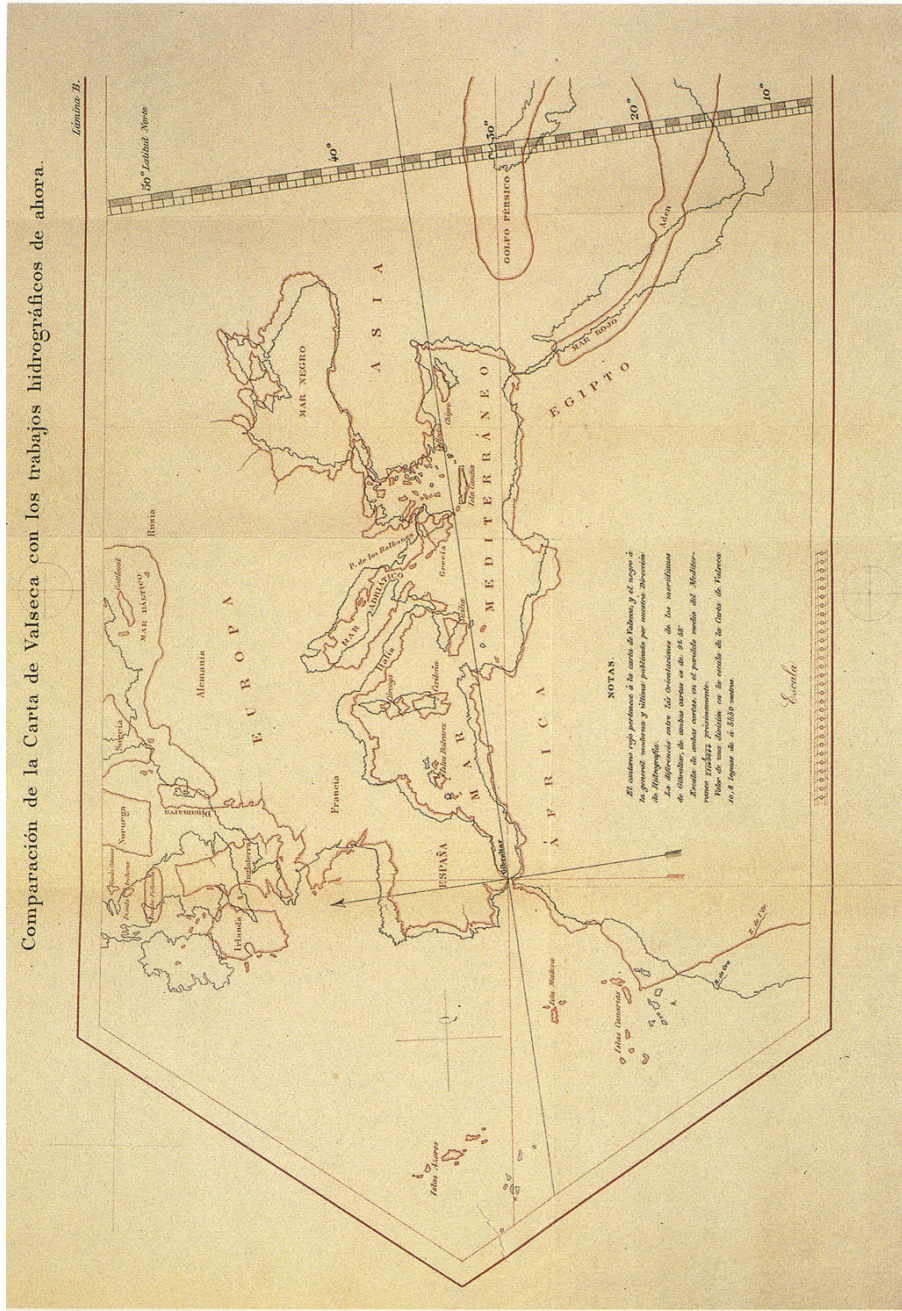


Figura 2.11: Superposición de la Carta Portulana de Gabriel de Valseca (1439) y otra moderna, corregida de proyección y escala. En el Mediterráneo son casi equiparables.

pletaba en 1993 el trabajo del Profesor Mesenburg. Después de un concienzudo estudio sobre el portulano antes citado y los de Jehuda Ben Zara (1497), Roma y Mateo Prunes (1563), Madrid, aclara rigurosamente la cuestión planteada, a nuestro parecer de forma indiscutible. Resumiendo su trabajo, la conclusión es que:

- De acuerdo con el Profesor Mesenburg la representación cartográfica de las cartas portulanas es la correspondiente a una proyección cilíndrica oblicua conforme, cuyos parámetros define el Coronel Paladini en forma muy aproximada, aunque dejándolos pendientes de depuración posterior que desgraciadamente su fallecimiento no ha permitido lograr.
- La aplicación de dicha proyección fue involuntaria y debida a la peculiar configuración de las líneas isógonas de declinación magnética en la época.
- Aceptado lo anterior, es innecesario el apoyo geodésico, afirmación muy arriesgada en buena doctrina si se entiende, como es preceptivo, compuesto de una medida de bases, triangulación orientada astronómicamente, observación y cálculo, con la precisión adecuada en cada una de sus fases.²⁰

²⁰ Angel Paladini Cuadrado “Sobre la génesis de los portulanos”. Opus cit. “...la formación de las cartas portulanas de tal manera que parezcan construidas en este sistema de proyección oblicua cilíndrica tuvo que ser obra de la casualidad u obedecer a una causa ajena a la intención del autor o autores del portulano “normal”. Creemos haber descubierto la causa. En principio, al ser convergentes hacia el Polo los meridianos geográficos en esta proyección, mientras que en los portulanos los meridianos magnéticos son paralelos entre sí, es evidente que se hallará un valor diferente para la declinación magnética según la longitud geográfica del punto donde se mida..... Los resultados son los que a continuación se relacionan

Meridiano	Latitud 35° N Declinación	Latitud 4°N Declinación
10° O	0°	0°
5° O	0°	1,0° E
0°	4,0° E	3,5° E
5° E	6,5° E	5,5° E
10° E	8,0° E	7,0° E
15° E	10,0° E	10,0° E
20° E	11,5° E	11,0° E
25° E	12,5° E	12,5° E
30° E	15,0° E	15,5° E
35° E	17,0° E	17,0° E

Ningún cartólogo parece haberse percatado hasta ahora, que nosotros sepamos, de este hecho del incremento de la declinación con el de la longitud geográfica hacia el Este en los portulanos..... El portulano “normal” pudo construirse por el método de rumbo y distancia.....rumbos con la brújula y distancias a la estima. El desconocimiento del fenómeno físico de la declinación magnética y la correlativa variación de la aguja, así como el incremento de una y otra magnitudes con la longitud geográfica induciría al genial constructor del primer portulano a disponer los Nortes magnéticos o vientos N-S de la carta paralelamente a sí mismos en toda la extensión de la carta, de tal manera que si la declinación variaba realmente en la forma que hemos descubierto y él ignoraba, al construir la carta en la proyección topográfica, esto es como si la tierra fuera plana, empleando los rumbos de la aguja como rumbos verdaderos (azimutes) referidos al Norte astronómico y las distancias sin corrección alguna, estaba construyendo sin saberlo una carta asimilable a la representación de una zona de la esfera en determinada proyección cilindra oblicua conforme..... El capitán de navío Cerezo

La afortunada realidad histórica abunda y corrobora lo expuesto. Efectivamente, el portulano se orienta al Norte verdadero, y los rumbos de la aguja de marear se refieren al magnético. Si ambos coinciden, difieren en poco, o siempre en lo mismo, todo va bien. En general, esto no es así, ni en tiempo ni en lugar. La distancia angular entre ambos Polos o declinación magnética, medida en grados de arco es función de la propia brújula, del lugar de la observación, y varía además con el transcurso del tiempo. Puede superar los 20° Este u Oeste del Norte verdadero. Semejantes oscilaciones hacen en principio inviable la técnica portulana. Pero el Mediterráneo durante los siglos XIII al XVII gozó de un periodo de tranquilidad geomagnética con valores de la declinación entre 8° y 11°, inferior a la cuarta de viento, precisión de derrota según hemos visto, siempre orientales y muy estables. En consecuencia, el mapa resultante reflejaba la realidad girada en bloque un valor igual y contrario a la declinación, pudiendo utilizarse perfectamente como carta de navegación, o con cualquier otro propósito cartográfico, como refleja claramente la figura 2.11.

En el Atlántico la cuestión es muy distinta. Fig. 2.12²¹. Colón descubrió en 1492 la línea ágena, de declinación nula, al oeste de las Azores y en su primer viaje²² y el piloto santónés Juan de la Cosa observó y calculó isógonas occidentales en las Antillas en su famosa carta portulana de 1500, primer mapamundi incluyendo a América. Conclusión inmediata era la imposibilidad práctica de utilizar la técnica portulana con cambios de declinación de más de quinientos grados en un mismo viaje. La estremecedora verdad era que no existía tecnología cartográfica adecuada para emprender la aventura de cruzar el Atlántico. Ni se tenía claro el destino, ni la ruta a seguir, ni la duración del viaje, ni mucho menos la seguridad de volver. Por si fuera poco, resultó que había todo un Continente desconocido interpuesto. Así las cosas, las mismas rutas oceánicas abiertas por los portulanos los herían fatalmente.

La pregunta inmediata es cómo fue posible el Descubrimiento. Nos ocuparemos de todo ello en seguida, pero antes despedimos al portulano de Gabriel de Valseca con una vieja historia.

Gabriel de Valseca, mallorquín “bruxolerius, cives maioricarum”²³ era según su testamento de 13 de Enero de 1467 descendiente de la familia judía de los Miró, y converso en el linaje adoptado de los Valseca. Maestro de cartas de navegar. Tenía su taller en Mallorca y se conservan tres cartas suyas, firmadas y fechadas en 1439, 1447, 1449 y alguna otra obra anónima atribuida. La car-

Martínez ha demostrado que entre 1300 y 1600 la declinación en todo el Mediterráneo fue de sentido NE y su variación secular muy pequeña.....Estas variaciones serían inapreciables midiendo los rumbos “ a la cuarta de viento” (precisión que permite la rosa náutica, es decir 11,25°).

²¹Según W. Van Bemmeler “Die isogonen in die XVI und XVII”. Leiden 1893. Obsérvese que la isogonía mediterránea es suficientemente estable como para hacer viable la navegación a rumbo y estima que se describió antes.. Compárese con las isógonas atlánticas y la conclusión es obvia: como termina sucediendo con todo, el portulano ha quedado obsoleto.

²²Julio Rey Pastor y Ernesto García Camarero “La Cartografía Mallorquina” pg. 10 y sig. CSIC. Madrid 1960. “.....el descubrimiento colombino de la declinación magnética el día 13 de Septiembre de 1492; ahora resulta que el fenómeno era bien conocido de los relojeros de Nurenberg que practicaban la corrección para la orientación de sus relojes solares”

²³Antoni Guinard “La Cartografía Mallorquina” Opus. Cit.pg.58 y sig.

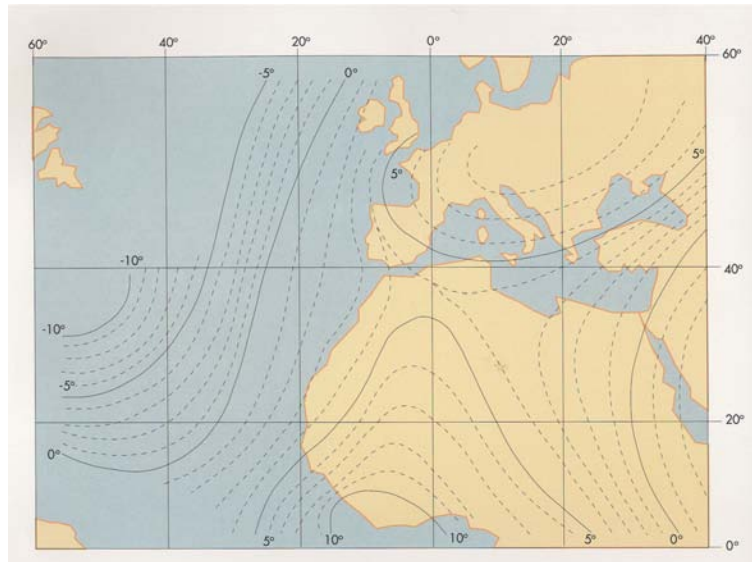


Figura 2.12: Probable red de isógonas ca. 1500.

ta náutica que nos ocupa, data de 1439 y representa la cuenca completa del Mediterráneo, los mares Negro, Rojo y de Azov, la costa e islas atlánticas desde Noruega a Rio de Oro, el mar Caspio y la costa asiática del Golfo Pérsico. Orientado con una declinación constante de 9° aproximadamente, cercana a la que realmente se calcula para su tiempo, y un “tronco de leguas” que permite tomar distancias lineales muy aproximadas con compás, constituye una muestra representativa de la precisión que podía alcanzar las Cartas de navegación portulanas. Especialmente, insistimos, en el Mediterráneo. Se trata además de una espléndida obra de arte rotulada y decorada en miniados de oro y plata.

Como figura en el reverso de la Carta, fue adquirida hacia 1480 en la importante suma de 130 ducados de oro por Américo Vespucio, Piloto Mayor de la Casa de Contratación de Sevilla, posiblemente a un propietario anterior. Después su peripecia vital fue agitada. Tras diversas vicisitudes mal conocidas, se sabe que el ilustrado mallorquín Cardenal Antonio Despuig i Dameto (1745-1813) la adquirió en Florencia. Posteriormente y por herencia vuelve a Mallorca a casa de los Condes de Montenegro, siendo la joya de su biblioteca, admiración de visitantes españoles y extranjeros y desde entonces seguramente la pieza de mayor calidad, más representativa y estudiada de la Ingeniería Cartográfica mallorquina y mediterránea, habiéndose escrito por diversos autores estudios monográficos muy completos sobre ella, como los que hemos mencionado e incluso libros²⁴. Nuevas y complicadas peripecias, decadencia de la Casa de

²⁴Muy recientemente es obligado resaltar el magnífico y exhaustivo trabajo de Ramón J., Pujades y Bataller “La Carta de Gabriel de Vallseca de 1439”. Lumenartis Ediciones SLU. Barcelona 2009.



Figura 2.13: Carta de Navegación de Gabriel de Valseca. (1439). Museo Naval. Barcelona.



Figura 2.14: El Invierno de 1838 en Mallorca. Palacio del Conde de Montenegro. Detalle de la Carta de Valseca. La mancha de tinta de George Sand. Fondo musical de Federico Chopin.

Montenegro, peligro de que la carta salga de España y en 1910 el Conde Ramon Despuig y Fortuny la vende a Pedro Bosch y Oliver. Finalmente al desaparecer el Museu Raixa es adquirida por el Instituto de Estudios Catalanes en 1917 para la Biblioteca de Cataluña por 80.000 pesetas, que la cede en depósito al Museo Marítimo de Barcelona donde hoy se encuentra.

La carta adquiere gran popularidad mundana por un episodio sucedido en 1838, totalmente ajeno a las tecnologías cartográficas, que conmociona a la opinión pública española y francesa y tiene repercusión, hoy diríamos que mediática, en toda la Europa Ilustrada. El hecho es que en el invierno de dicho año llegan a Mallorca la señora baronesa consorte de Dudevant Madame Aurora Dupin, más conocida por George Sand, sus hijos Mauricio y Solange, su camarera Amelia, y su amante, el compositor polaco Federico Francisco Chopin²⁵. Todos giran una visita a la Biblioteca del Conde y les muestran el mapa. Un tintero incomprensiblemente utilizado como contrapeso para mantener extendido el pergamino se vuelca y produce en aquel desperfectos de consideración en el sector correspondiente a las Azores e Islas Canarias. Fig.2.14. George Sand cuenta el incidente con tal desmesura que parece divertirse y concita contra ella una reacción de indignada protesta con repercusión internacional. El mapa termina siendo desde entonces tan conocido a lo menos por su calidad técnica y artística como por el incidente del tintero.²⁶

Y hasta aquí la Ingeniería Cartográfica mediterránea portulana. De la importancia y difusión universal que llegó a alcanzar da una idea la figura 2.15²⁷. Se trata de un portulano japonés del siglo XVII de indudable paternidad europea, que no desmerecía frente a los precisos y en ocasiones preciosos productos autóctonos.

La Ingeniería Cartográfica de fin del siglo XV y sus tecnologías portulanas no eran suficientes, para abrir rutas oceánicas. Pero tampoco había nada mejor.

²⁵George Sand "Un invierno en Mallorca".Pg. 67 y sig. Luis Ripoll, editor. Mallorca 1974. También Luis Ripoll "El episodio mallorquín de Chopin y George Sand" pg. 104 y sig. Luis Ripoll editor. Mallorca 1969.

²⁶George Sand escribe, Opus. cit.: "... se me erizan los cabellos al transcribir esta nota pues vuelve a mi pensamiento una escena espantosa...el pergamino, habituado a estar enrollado, empujado acaso por algún espíritu maligno.... volvió sobre sí mismo arrastrando al tintero que desapareció en el rollo... el mapa quedó inundado y los lindos y diminutos soberanos pintados en miniatura nadaban literalmente sobre un mar, más negro que el Ponto Euxino... Todos perdieron la cabeza. Creo que el capellán se desvaneció. Los criados corrieron en busca de cubos de agua como si se tratara de un incendio y a escobazos y esponjazos se dispusieron a limpiar el mapa llevándose, en mescolanza, reyes, mares, islas y continentes... etc...etc..." De la respuesta que se siguió es buena muestra lo escrito por José María Cuadrado en la prensa local: Antoni Guinard "Cartografía Mallorquina" Opus. Cit. pg.61 y sig. "... los fragmentos históricos o arquitectónicos que intercala los toma de Mr. Tastu y de Mr. Laurens, para que a ella no le debamos más que injurias. La única vez que le plugo registrar nuestras curiosidades causó con su aturdimiento, por más que ingeniosamente lo desfigure, la pérdida irreparable de un monumento que valía algo más para Mallorca que el honor de su visita..." y finalmente: "... George Sand es el más inmoral de los escritores y Madame Dudevant, la más inmundada de las mujeres..."

²⁷Ibidem. Pg.185. Portulano trazado fielmente según la metodología y técnica europea. Parece ser que tan solo se han permitido modificar el número usual de vientos de sus rosas, contándose aquí doce. Colección del Prof. M.Namba.

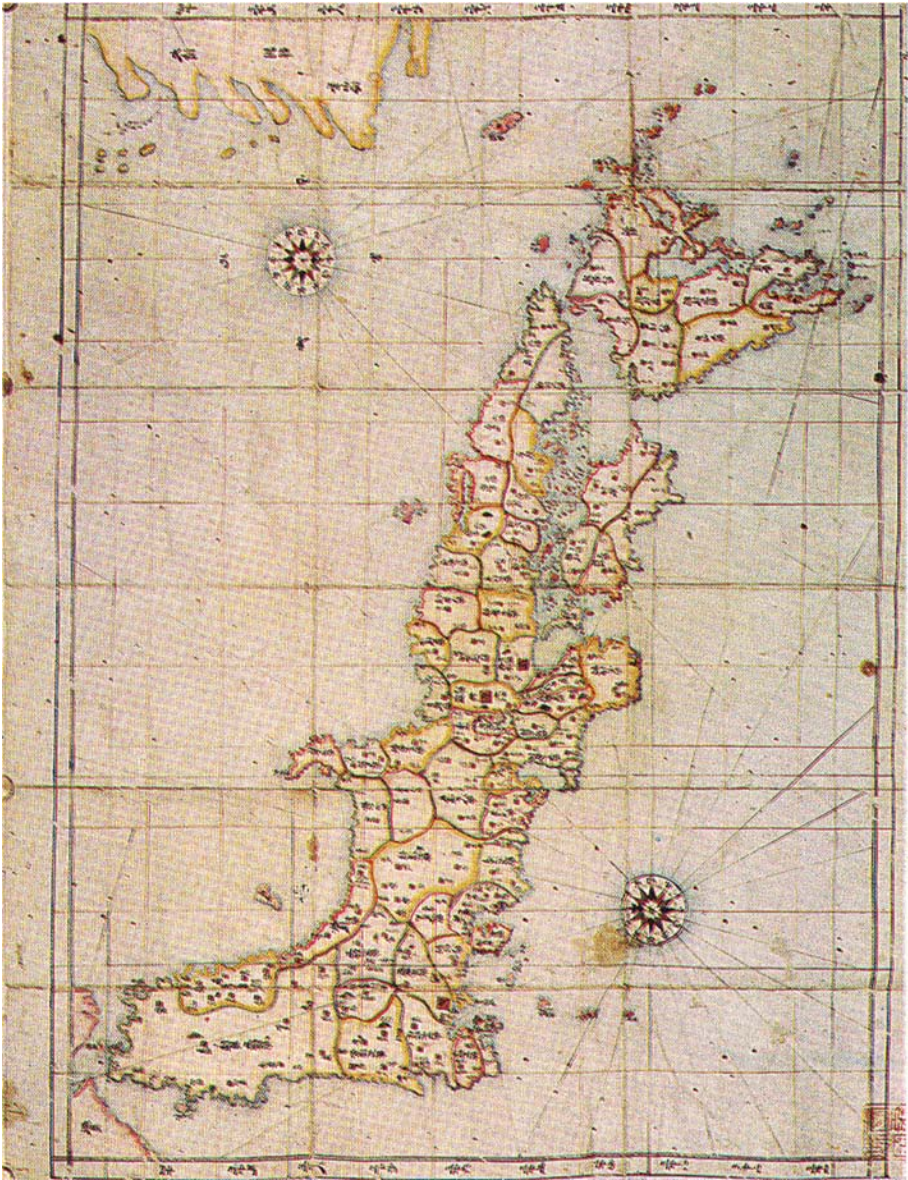


Figura 2.15: Portulano japonés del siglo XVI

Y como sucede en tantas ocasiones históricas, la curiosidad, la ambición y la audacia humanas se impusieron a la prudencia y comenzó la azarosa aventura.

2.1. Exploraciones, Cartografías y Descubrimientos. Tecnología cartográfica colombina.

Erik Thorvaldsson, jefe vikingo afincado en Islandia apodado “el Rojo” a causa de su llamativa cabellera, allá por el año 982 de nuestra Era no estaba de suerte. Había cometido un asesinato a sangre fría y le reconocieron. Como consecuencia fue desterrado por tres años, en espera de que se calmara el inevitable revuelo.

Recordando que un conocido suyo llamado Gunnbjorn había avistado durante una tempestad tierras hacia el norte entre peligrosos hielos flotantes quiso tentar la fortuna, dobló el cabo Farewell y descubrió unos fiordos acogedores rodeados de valles fértiles a los que dio el nombre de “Tierras Verdes”, Groenlandia. Allí se estableció fundando el asentamiento de Bratahild (actual ciudad de Tungdiliafik) que arrastró durante largo tiempo una existencia muy precaria. Su hijo Leif Erikson, excepcional marino, hartado de penurias y buscando mejores horizontes, recorre miles de millas costearo con su nave tipo Drakkar de guerra Noruega, llega a Escocia, se adentre por el Atlántico Norte y atraca en la costa del Labrador y Terranova, que llamaron Vinland. Vuelve a Groenlandia con la noticia, y tras diversos intentos, en 1020 Thorfinn Karlsefni con tres Knor mercantes, más achatados y capaces que los Drakkar, de 30 metros de eslora embarcando un total de 160 personas con sus bastimentos, navega por la ruta abierta con intención de fundar un establecimiento permanente. Después de tres inclementes inviernos en América, en permanente lucha con la Naturaleza y los Amerindios (a los que llaman “skraelings”, hombres feos), los terribles vikingos se reconocen derrotados y vuelven a Groenlandia olvidando para siempre el Nuevo Mundo.

En el celeste Imperio, el segundo Emperador de la dinastía Ming, Hui-Di fue expulsado de su capital Nan-King y del trono por su tío Chen-Su, que seguidamente se autotransformó en tercer Emperador Chu-Di y proclamó la Era Yongle “de la Eterna Felicidad”, que duró lo que su reinado (ca. 1403-1424). Chu-Di apoyó y promovió grandes expediciones marítimas armando flotas, llamadas “del tesoro”, que recaudaban tributos de los países bárbaros de Occidente. El Almirante Cheng-Ho, eunuco musulmán del Yunnan zarpa en 1405, probablemente de Yang-Chou, en el delta del Yang-Tse-Kiang con 27.870 hombres embarcados en 317 grandes juncos que alcanzaban los cincuenta metros de eslora, capaces de transportar hasta doscientas personas cada uno, dotados de calas herméticas, agujas magnéticas de marear y cartas de navegación eficientes llamadas “historias del agua”. Llega hasta la India, via Vietnam, Indonesia y Ceilán y vuelve en 1407. Posteriormente realiza seis expediciones más de parecida envergadura. Es seguro que la sexta (1421-22) bordeó África hasta el sur de Madagascar, admisible que doblara el Cabo de Buena Esperanza y más bien legendario que arribara



Figura 2.16: Mapa de Vinland

a algún lugar de América del Sur. Últimamente algún autor occidental contempla dicha posibilidad casi en éxtasis. En cualquier caso, ni hubo continuidad ni dejaron rastro tangible.

Y llegamos a Colón.

Hemos visto que la cartografía ptolemaica fue indiscutida e indiscutible en toda Europa hasta la misma época colombina. Y Colón mismo también la aceptó. Por las razones que fuesen y ya hemos apuntado alguna, Ptolomeo apreció la dimensión del globo terrestre con un error por defecto de aproximadamente un 25 % de círculo máximo con relación a la real, lo que influyó decisivamente en abono de la factibilidad de la teoría colombina hacia alcanzar las tierras del Gran Khan o emperador de China navegando de levante a poniente y tras un viaje de aproximadamente 78° de longitud a través del Océano Atlántico, asequibles en la esfera descrita. Fig.2.17. Ello dio lugar, paradójicamente, al descubrimiento de América, que Colón jamás aceptó, como tampoco la existencia del Océano Pacífico.

Adicionalmente y entrando en más detalle, los mayores errores del mapa de Ptolomeo están contenidos en la parte oriental y meridional. Así, la península del Decán está tan reducida que apenas apunta su forma triangular, en tanto que la Isla Taprobana (Ceilán) aparece muchísimo mayor de lo que es en realidad. En cambio, la conformación del continente africano es bastante aproximada desde el Septentrión hasta el Ecuador, pero a partir de la línea ecuatorial, en vez de ir contrayéndose, se ensancha. El mapa termina con aceptable corrección hacia el

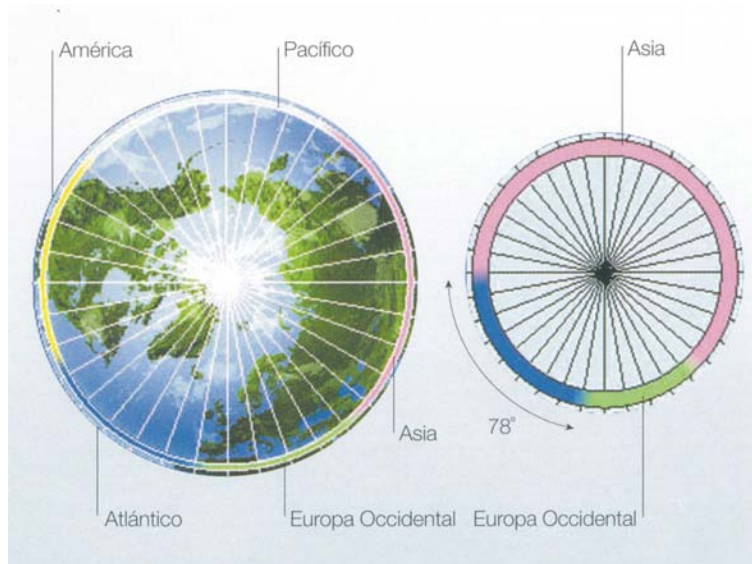


Figura 2.17: Proyección ortogonal de la Tierra sobre el plano ecuatorial y distribución de los continentes. Izqda. Situación real. Dcha. Hipótesis de Colón.

oeste, pero por el sureste africano se prolonga hasta unirse al continente asiático, haciendo del Océano Índico un inmenso lago. Fig 2.19. Esta disuasoria imagen que perduró también gracias a la cartografía árabe, seguidora de Ptolomeo, fue una de las causas fundamentales que provocaron el retraso en arribar a las costas índicas por la ruta oriental bordeando África.

Finalmente, la propia evidencia de las navegaciones portuguesas y españolas desmintió la idea inicial. No había tal lago, pero si una inmensa península “la cola del Dragón” que había que contornear para llegar a Cipango, (Japón) y la costa oriental de China. No era difícil identificar, no solamente los países y ciudades visitados, sino también toda la Cartografía Fantástica que el imaginario secular había forjado, desde el Quersoneso Aureo (en la actual Malaca), hasta la mítica Catigara, en la costa occidental de las Indias Orientales, visitadas por Alejandro el Grande según el Pseudo Calístenes²⁸. En cualquier caso la ruta de Occidente se presentaba cada vez más atractiva. Seguramente Colón dispuso del mapa de Henricus Martellus²⁹, fechado en 1489, acorde con la teoría expuesta.

²⁸Pseudo Calístenes “Vida y hazañas de Alejandro de Macedonia”. Biblioteca Clásica Gredos. Editorial Gredos S.A. Madrid 1977.

²⁹Donus Nicolaus Germanus y Henricus Martellus (Heinrich Hammer) Germanus son los nombres latinizados de dos maestros cartógrafos de origen alemán de finales del siglo XV de alto prestigio. Ambos publicaron en Bolonia en 1477 la primera edición de la Geographia de Ptolomeo dada a la imprenta. Henricus trabajó con Francesco Rosselli en Florencia, fue cartógrafo oficial del Papa Inocencio VIII en el Vaticano y su obra alcanzó una gran fama, influyendo, entre otros aspectos, en el globo terráqueo construido por Martín Behaim ca. 1490. Henricus Martellus mantenía buena amistad con Martín Alonso Pinzón, que se desplazó a Roma a solicitar su consejo acerca de la expedición que preparaban. Fue muy favorable y

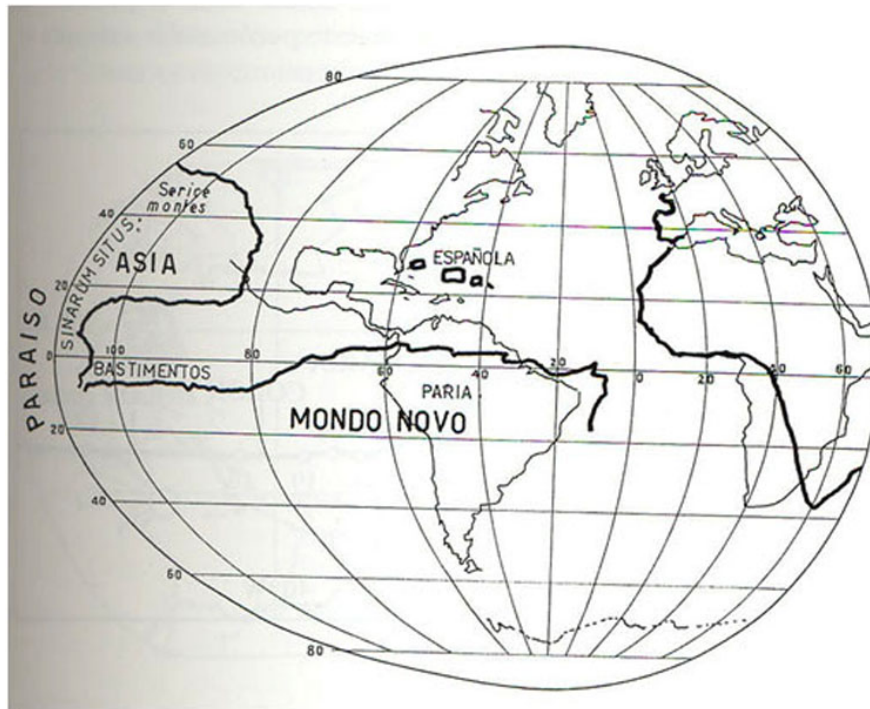
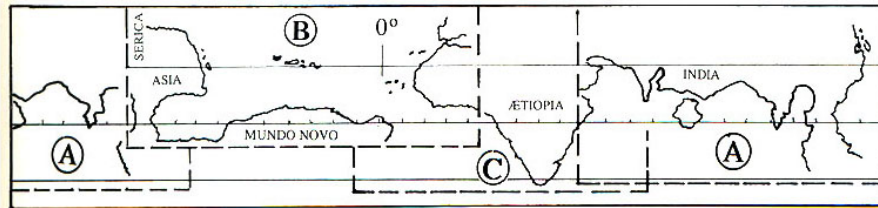


Figura 2.18: Hipótesis de Colón



Figura 2.19: Interpretación del Mapa de Ptolomeo (1474). Donus Nicolaus Germanus. Biblioteca Apostólica del Vaticano.

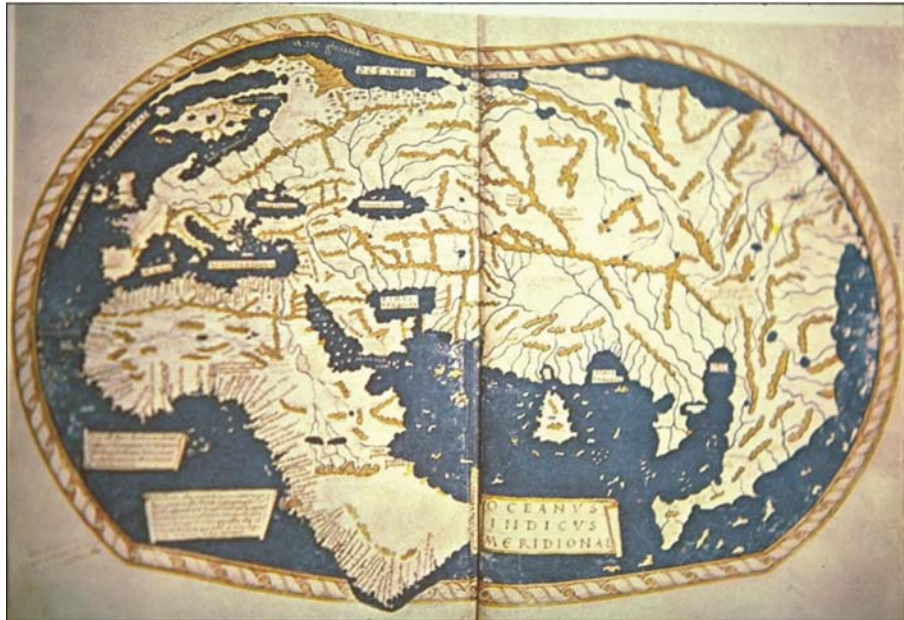


Figura 2.20: Interpretación del Mapa de Ptolomeo (1489). Henricus Martellus Germanus. Museo Británico. Colección Saibante Canonici.



Figura 2.21: Interpretación del Mapa de Henricus Martellus Germanus (1489). Universidad de Cantabria.

Figs.2.20 y 2.21.

A la muerte de Colón y entre sus pertenencias, se encontró un ejemplar del *Imago Mundi*, de Pedro D'Ailly con numerosas notas y croquis que se han datado entre 1504 y 1505, en Lisboa, debidas a su hermano Bartolomé Colón y autenticadas por el renombrado Obispo de Chiapas Bartolomé de las Casas. Entre ellas la nº 23 es una versión casi calcada del mapa de Martellus que comentamos. Fig.2.22. En 1525, Alessadro Zorzi, veneciano, publicó un mapa en línea con cuanto antecede conteniendo la costa oriental de América como parte de Asia. Afirmó y se ha demostrado su veracidad que se basaba en documentos y mapas debidos a Bartolomé Colón³⁰. Fig.2.23. En cualquier caso, los conceptos geográficos del Almirante aparecen suficientemente claros, no solo de acuerdo con sus propias manifestaciones, sino razonándolos a partir de las fuentes que utilizó.

Y para terminar esta argumentación y no hacerla interminable, pasaremos por alto los mapamundis de Fra Mauro y Walsperger, y también el llamado Mapa de Colón, a pesar de su nombre, pues no se trata más que de un excelente portulano anónimo muy válido para el Mediterráneo pero, como sabemos, para no mucho más. Es de general consenso que también fueron estudiados por Colón y se contaban entre sus documentos privados. Sin embargo, nos referiremos tan solo a un globo terráqueo y un mapa. El globo, Fig. 2.24, se debe al muy prestigioso cartógrafo alemán Martín Behaim³¹ y el mapa al por lo menos igualmente famoso en su época Paolo del Pozzo Toscanelli³². Es seguro que Colón mantuvo contactos con ambos, especialmente con Toscanelli a través de un extenso cruce de cartas que recopila y transcribe Hernando Colón en su "Historia del Almirante", es posible que solidamente apoyado por Felipa Muñiz de Perestrello, su influyente y aristocrática esposa portuguesa³³.

volvió a Huelva con la cartografía de su amigo y muchos ánimos, que por lo visto levantaron los de Colón, que estaban por los suelos. Tal vez nos encontramos ante una pequeña causa que provocó un gran efecto.

³⁰Hernando Colón "Historia del Almirante" pg. 344. Editorial Planeta S.A. Madrid-Barcelona. 2006.

³¹Martín Behaim "Martín de Bohemia", cartógrafo alemán nacido en Nuremberg en 1459 y muerto en el Hospicio de San Bartolomé en Lisboa en 1507. Discípulo de Regiomontano. En Lisboa conoció y trató a Colón. Nombrado por Juan II de Portugal geógrafo de la expedición de Diego Cano cartografió y recorrió con él la costa oeste africana hasta la desembocadura del río Congo. Vuelto a Nuremberg construyó allí su famosa esfera terrestre, a la que seguramente tuvo acceso Colón, la más antigua de las existentes y coincidente con las ideas y teorías de Toscanelli. Se conserva en el Museo Germánico de Nuremberg. Redactó las primeras tablas de declinaciones del sol y promovió el uso del astrolabio en náutica.

³²Paolo del Pozzo Toscanelli (1397-1482). "El Físico". Renombrado cartógrafo, cosmógrafo, ingeniero y médico florentino. Hacia 1470 escribió al rey de Portugal proponiéndole llegar a la India y Japón por la ruta de Occidente. Adjuntaba el famoso mapa, hoy perdido, que se le atribuye y contiene sus teorías y técnicas. Entre otras la entonces innovadora de referenciar el mapa mediante una red de meridianos y paralelos.

³³Hernando Colón "Historia del Almirante" Opus cit. Capítulo VIII. "De las cartas de Paolo, Físico Florentino, al Almirante sobre el descubrimiento de Indias" pg 65 y sig. Transcribe dos extensas cartas "A Cristóbal Colón, de Paolo, Físico" fechadas en Florencia, 26 de Junio de 1474 la primera y sin fecha la segunda, que dice posterior. En esta última escribe "...Comprendo tu noble y gran deseo, tus ansias de navegar de levante a poniente tal como se muestra en la carta que te envié, y como se demostrará mejor sobre una redonda esfera.... Me complace que

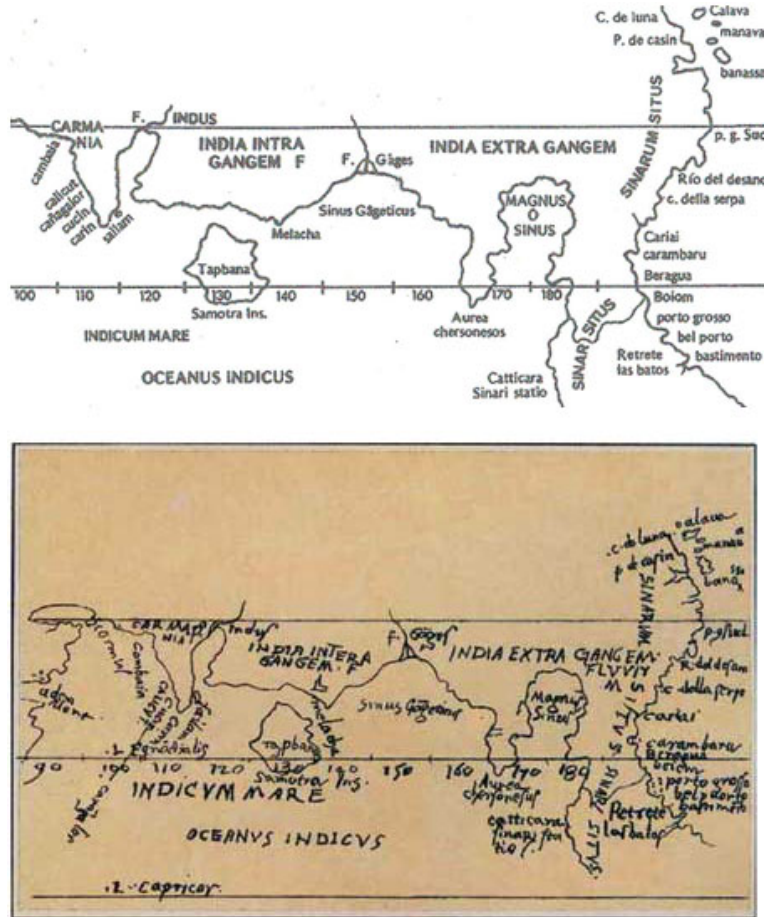


Figura 2.22: Croquis de Bartolomé Colón. Lisboa (1504-5) Con todo el imaginario fantástico de la época. Muy acorde con los mapas de Martellus. Rotulación original y moderna superpuesta. Biblioteca Nacional Central. Florencia.

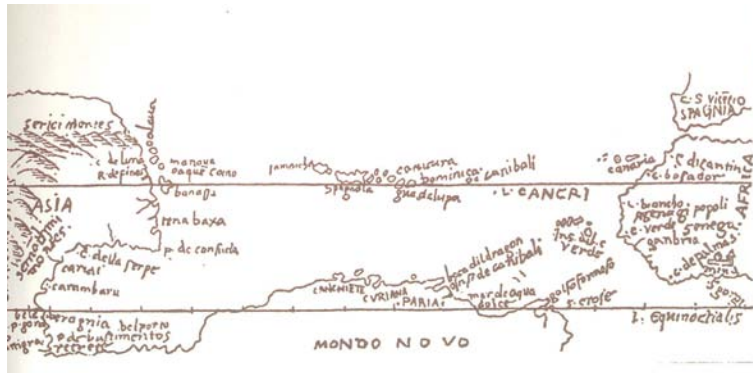


Figura 2.23: Franja ecuatorial del Mundo, según las ideas de Colón. (1525). Es claro que su Mondo Novo formaba parte de Asia. Rotulación original. Biblioteca Nacional Central. Florencia.

El globo se conserva y el mapa se ha perdido, conociéndose solo su muy probable reconstrucción. Reproducimos la debida al Profesor norteamericano Charles H. Hapgood.³⁴ Fig. 2.25.

Se sabe que Toscanelli animó personalmente a Colón a emprender el viaje y su mapa le acompañó en la Santa María. En él aparecen ya Cipango y Catay al alcance de cualquier viajero que cruce el Atlántico navegando una distancia de no más de 3.000 millas náuticas. Unos 5.400 km. , empresa esforzada pero asequible para la época. Lo malo era la ingeniería cartográfica disponible que no tenía la menor consistencia técnica hasta el punto de que cualquier parecido entre proyecto y realidad era pura coincidencia.

Así pues, el resultado, fue el de la Fig. 2.26³⁵.

- Con trazo rojo continuo el itinerario de Colón en su cuarto viaje.

sea comprensible y que dicho viaje no solo sea posible sino verdadero y cierto y de honra y ganancia inestimables así como de grandísima fama entre cristianos... Cuando se efectue ese viaje se llegará a reinos poderosos y a ciudades y provincias nobles, riquísimas y abundosas en cuanto necesitamos, es decir, en abundantísimas especies y grandes cantidades de joyas..... no me sorprende que tú, que eres valeroso y toda la nación portuguesa que siempre ha contado con hombres señalados en todas las empresas, esteis entusiasmados y con gran deseo de llevar a cabo tal viaje...". Parece evidente que Colón contaba con la carta de navegar de Toscanelli, se trasluce la influencia de su esposa portuguesa, y queda clara la condición mercenaria del Almirante, que el jamás negó. Charles H. Hapgood. "Maps of de Ancient Sea Kings" pg. 58 y sig. Adventures Unlimited Press. Kempton, Illinois USA. 1996.

³⁴Charles Hutchins Hapgood (1904-1982). Master en Historia Medieval y Moderna por Harvard llevó una agitada vida de profesor, investigador científico, escritor bordeando la ciencia ficción, funcionario de la CIA y aventurero. Terminó su vida atropellado en la calle por un automóvil. Ejerció la docencia en Provincetown, Vermont y en el Springfield College de Springfield, Massachussets. Sus teorías sobre la existencia de la Atlántida, los vuelcos seculares del eje de la Tierra y la negación de la Tectónica de Placas han dañado su reputación científica, en otros aspectos bien acreditada.

³⁵Historia Universal de las exploraciones, Tomo II (de seis) página 72. VVAA. Espasa Calpe S.A. Madrid 1989

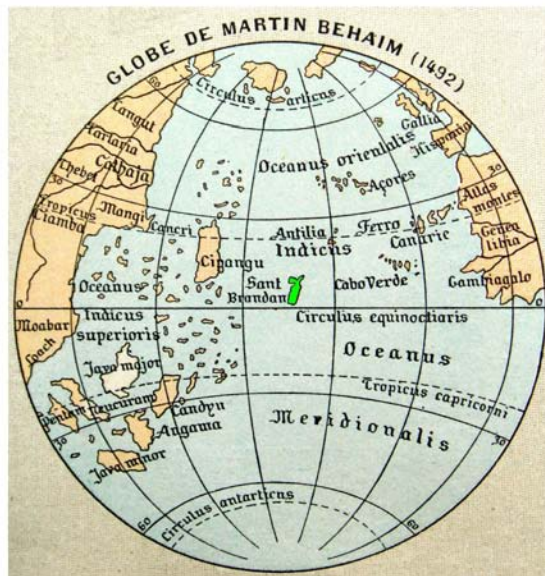
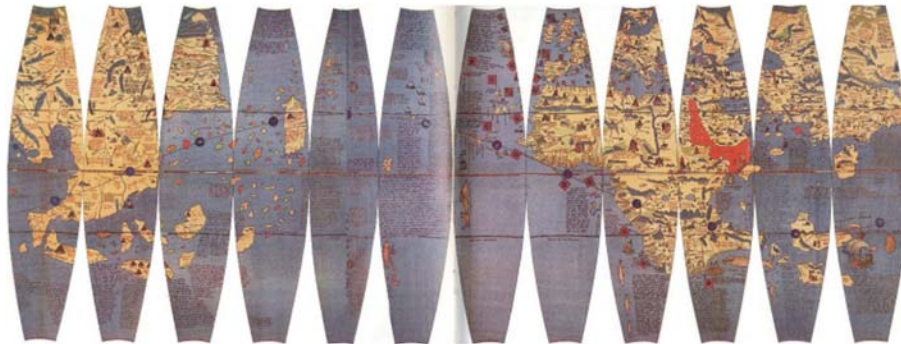


Figura 2.24: Derecha abajo: "Erdapfel".Globo de Martín Behaim. Metal recubierto de una carta dibujada por George Glockendon. Izquierda abajo: Proyección meridiana. Arriba: Desarrollo por husos (1490).

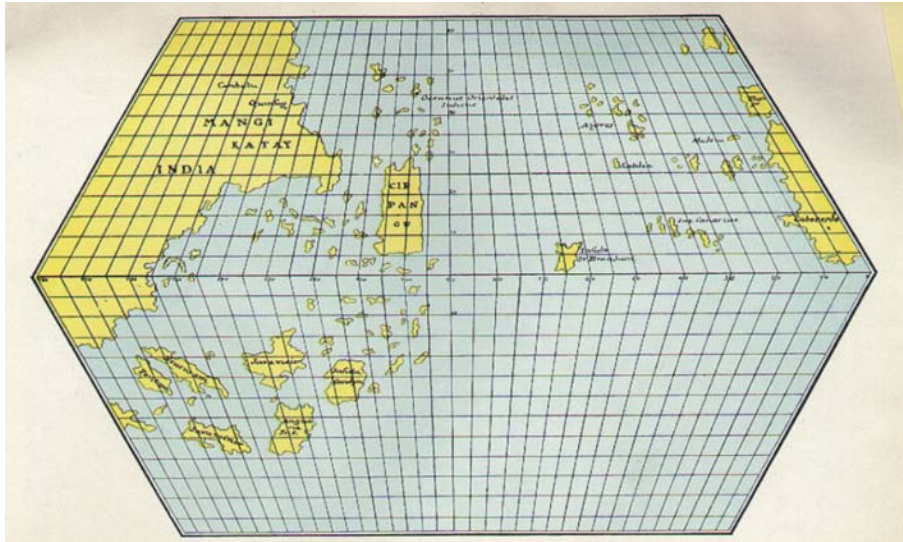


Figura 2.25: Reconstrucción del Mapa de Toscanelli por Charles H. Hapgood.

- Con trazo rojo discontinuo el itinerario que creía seguir Colón en su cuarto viaje, a lo largo de la costa sudeste de Asia, de Zaitun hacia Catigara.
- Con trazo continuo amarillo, las costas atlánticas de América según el mapa de Juan de la Cosa (1500).
- Con trazo de líneas paralelas el contorno de los mares y extensión de Asia hacia el Este según Martín Behaim (1490).

La verdad es que con observaciones astronómicas sencillas se sabe desde muy antiguo determinar la latitud del lugar, por lo que es difícil entender cómo pudo confundir Colón el hemisferio Norte con el Sur en este último viaje. Lo cierto es que Colón tomó a Cuba por Cipango y murió convencido de ello. ¿O quizás no?. ¿Quizás ya estuvo allí?...Alonso Sánchez de Huelva, el piloto anónimo... el Mapa de Vinland La cola de Dragón representa la costa de América... Los viajes y mapas chinos. El almirante Cheng-Ho. No insistiremos en la Cartografía Fantástica.

En la fig. 2.27 se representa un detalle de la composición cartográfica anterior. La superposición del mapa de Toscanelli y uno moderno. Y terminamos aquí la cuestión. Desde principios del siglo XVI hasta el XVIII es el tiempo de los descubrimientos, los grandes viajes y los grandes viajeros. También de la urgencia de renovar la Ingeniería Cartográfica existente, que no podía afrontar con una mínima solvencia los retos planteados. Pero exploradores y viajeros eran o se hacían acompañar por ingenieros cartógrafos. Y vamos a destacar uno de ellos, tan brillante como poco conocido. Es la página valenciana del cartógrafo, explorador y descubridor Diego Ramírez de Arellano.

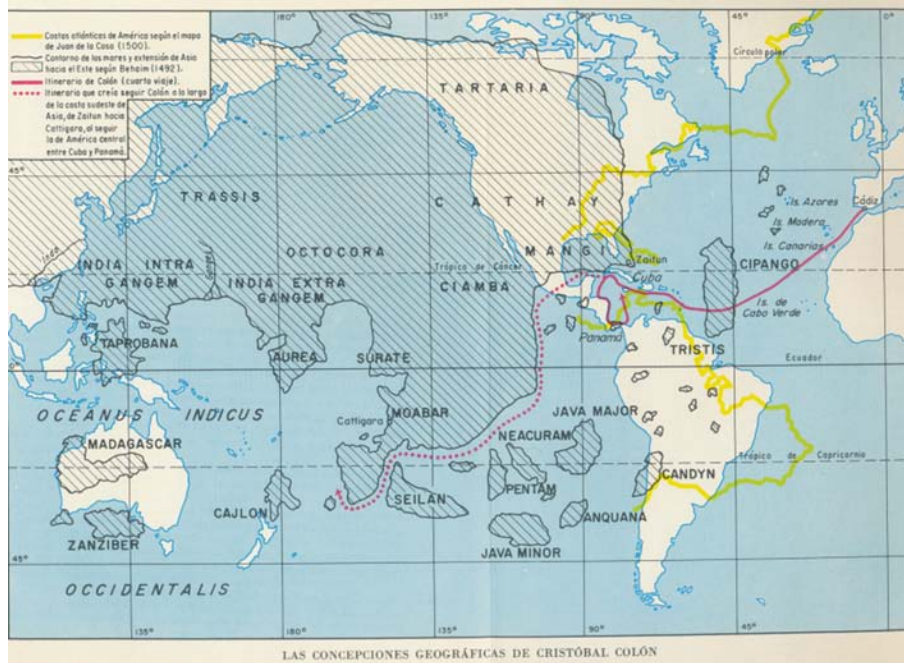


Figura 2.26: Mapa del cuarto viaje de Colón, donde se superpone su itinerario real y el ficticio.



Figura 2.27: Superposición del Mapa de Toscanelli y otro moderno.

2.2. La página valenciana de Diego Ramírez de Arellano.

Diego Ramírez de Arellano nació en Xàtiva en fecha desconocida. Fue bautizado con el nombre de Ildefonso pero por motivos que se ignoran se hizo llamar Diego a partir de un viaje a la Villa y Corte de Madrid donde residió algún tiempo. Tal vez se debió a un repentino ataque de fervor y devoción a San Diego.

Estudió en la Universidad de Valencia y la Casa de Contratación de Sevilla, fue Cosmógrafo Real de Felipe III, y llegó a Piloto Mayor de la Casa de Contratación entre 1620 y 1624³⁶, accediendo así al puesto de máxima autoridad y responsabilidad en Ingeniería Cartográfica del Imperio Español. En su tiempo esto significaba a la vez, máximo prestigio y reconocimiento mundial.

Levantó una excelente cartografía de la región austral de América del Sur, al este y oeste del Estrecho de Magallanes, escribió entre otras obras el “Reconocimiento de los Estrechos de Magallanes y de San Vicente y algunas cosas curiosas para la navegación”, obra de extraordinaria erudición, hoy difícilísima de encontrar, donde dos siglos antes de Darwin realiza observaciones en muchos aspectos coincidentes con él. En una palabra, merece el juicio del cronista de Felipe III, Gil Dávila que escribe: “Diego Ramírez, natural del Reyno de Valencia, que estudió vientos, tiempos, alturas y grados, sondeó, observó, y demarcó sitios, haciendo inmortal su nombre en los extremos del mar y la tierra”

Sin embargo y en nuestros días el Profesor José María López Piñero³⁷, autoridad reconocida como historiador de la Ciencia, se pregunta cuántos valencianos conocen siquiera su existencia. Seguramente no muchos. Procede por tanto recuperar la noticia de sus andanzas.

La “Compañía Australiana” (Australische of Zuid Compagnie), domiciliada en la ciudad holandesa de Hoorn, financió y organizó una expedición al Pacífico Sur para competir con la monopolista Compañía Holandesa de las Indias Orientales. Se trataba de encontrar el supuesto continente austral que anteriormente había sido mencionado por Quirós y, en cualquier caso, abrir nuevas rutas comerciales con las Indias Orientales buscando un paso más al sur que el de Magallanes. Así, en Junio de 1615 se hicieron a la vela en Texel (Holanda), los barcos Eendracht (Concordia), mandado por Cornelius Willem Schouten y el Hoorn, mandado por su hermano Jan. Jacob Le Maire embarcó como director comercial de la misión. Arribados a Batavia en Octubre del mismo año informaron que habían descubierto un paso entre la Tierra de Fuego y la isla de los Estados que bautizaron con el nombre de Le Maire. Y que también doblaron y

³⁶Ricardo Cerezo Martínez “La Cartografía Náutica Española en los siglos XIV, XV y XVI”. Opus cit. pg 143 y sig. Incluye la relación de todos los Pilotos Mayores de la Casa de Contratación, empezando en Americo Vesputio (1508-12), hasta Alonso de Bacas Montoya (1699-1708). Diego Ramírez de Arellano se sitúa entre Andrés García de Céspedes y Antonio Moreno.

³⁷Jose María Lopez Piñero “La tecnología de la navegación en la España renacentista”. Ayuntamiento de Valencia. Valencia 2007. También artículo titulado “Xàtiva: Tierra de Fuego”. Revista La Aventura de la Historia, nº 103.

nombraron el Kaap Hoorn, Cabo de Hornos, en honor a la ciudad holandesa que daba nombre a uno de sus dos barcos, que por cierto se perdió en un incendio. La expedición terminó desafortunadamente, con la pérdida de los dos barcos, la muerte durante el viaje aquejado de escorbuto de Jan Schouten, el arresto de Willem Schouten y de Le Maire, y la posterior muerte de este último³⁸. Se puso en duda su descubrimiento y llegó el turno de los navegantes españoles.

Fuera cierto o no el descubrimiento de los exploradores holandeses, la Corona Española, enterada del viaje, decidió terciar en el asunto, y de orden de Felipe III se armó y emprendió una expedición sobre cuya derrota y resultados no existe la menor duda.

Los hermanos Bartolomé y Gonzalo García de Nodal zarparon de Lisboa el 27 de Septiembre de 1618. Mandaban dos carabelas, las “Nuestra Señora del Buen Suceso” y “Nuestra Señora de Atocha”, con tripulación mayoritariamente portuguesa. Diego Ramírez de Arellano partió con la expedición en calidad de Piloto y Cosmógrafo. Durante diez meses cruzan el Atlántico, recorren la costa de Brasil y Argentina, doblan el Cabo de Hornos en dos direcciones y vuelven a Europa arribando al Cabo de San Vicente, en Portugal, el 7 de Julio de 1619. Diego Ramírez lleva el diario del viaje y cartografía y describe en detalle el itinerario recorrido.³⁹ Fig. 2.28. En la Fig. 2.29, cartografía del propio Diego Ramírez, como reza expresamente en la cartela del mapa, fechado en 1621 y contenido en el “Reconocimiento de los Estrechos de Magallanes y San Vicente”. En el mismo, entre otros accidentes geográficos, el Estrecho de San Vicente, que después, sin que se sepa bien por qué, ha vuelto a grafarse hasta la moderna cartografía usual con el topónimo de estrecho de Le Maire, y las Islas de Diego Ramírez. Posiblemente sean aún las islas habitadas permanentemente más australes, al Norte del Continente Antártico. Y además, la Isla de Xátiva, topónimo indudable que tras la batalla de Almansa por lo visto ofendía a Felipe V, Borbón de infausto recuerdo y de Real Orden fue cambiado por el de Tierra de Fuego.

En la Fig. 2.31 adjuntamos una carta más, también debida a Diego Ramírez, como puede leerse en la cartela⁴⁰, donde figuran de nuevo los topónimos antes

³⁸La expedición se saldó con la pérdida de los dos barcos, el Hoorn incendiado y el Endracht confiscado en Batavia, al no ser aceptado como cierto el descubrimiento de la nueva ruta al sur del Estrecho de Magallanes. Jan Pietersz Coen, representando a la VOC (Vereenigde Oostindische Compagnie, Compañía Holandesa de las Indias Orientales) presentó una querrela contra ellos por violación de su monopolio de comercio de especias y Willem Schouten y Le Maire fueron arrestados y condenados. Antes, durante el viaje, Jan Schouten había fallecido de escorbuto. Posteriormente liberados y en el tornaviaje también murió Le Maire, a bordo del Amsterdam, que le devolvía a Holanda.

³⁹El 15 de Noviembre de 1618 llegan a Río de Janeiro. El 19 de Enero de 1619 cruzan el Estrecho de Magallanes. Después viran y desde el Pacífico en 22 de Enero cruzan, descubren, nombran y cartografían el Estrecho de San Vicente Martir, que hoy es más conocido por Estrecho de Le Maire. El 11 de Marzo doblan el cabo de las Vírgenes y regresan a España. Dan nombre a los Cabos de San Sebastián, San Vicente Martir, San Diego, e Islas de Diego Ramírez, Isla de Xátiva y muchos accidentes geográficos más.

⁴⁰Se puede leer, entre otras cosas, “Reconocimiento de los Estrechos de Magallanes y San Vicente mandado hacer por Real Orden en el Real Consejo de Indias..... Dos Carabelas... salieron de Lisboa el 27 de Septiembre de 1618 volvieron ... 7 de Julio de 1619..... Capitan Bartolomé Nodal... Gonzalo Nodal..... Cartógrafo Diego Ramírez...

citados y algunos más adicionales, sin duda de primera denominación.

En fin, sin desmerecer para nada los probables méritos descubridores de Le Maire y los Schouten en los mares australes, de los que no nos consta cartografía alguna, no cabe duda de que el setabense Diego Ramírez seguro que estuvo allí y de él sí ha quedado escrito un trabajo amplio y riguroso. Y su recuerdo no se ha conservado como en justicia merecía.

La obra de Diego Ramírez es calificada muy elogiosamente por Martín Fernández Navarrete. Y es obligado destacar que, en su autorizada opinión, fue el primero en rechazar como impreciso y erróneo el método de navegación tradicional por rumbos magnéticos que durante siglos había sido empleado con éxito en la cuenca del Mediterráneo. Rechazó la existencia de meridianos magnéticos e intuyó la de líneas isógonas, irregulares y cambiantes en lugar y tiempo, adelantándose en más de dos siglos a la doctrina geodésica mundial.⁴¹ Su cartografía sigue siendo portulana, como puede apreciarse en los mapas que reproducimos, pero siendo convencido de que dicha tecnología y praxis ya está completamente superada en su tiempo, es inaplicable a rutas oceánicas, y puede conducir a gravísimos y peligrosos errores.

En su actividad como Piloto Mayor de la Casa de Contratación, Diego Ramírez redactó y publicó dos memoriales en los que denunciaba la corrupción económica en que se había sumido la Institución. En el primero, reprochaba que los mismos cosmógrafos que examinaban y autorizaban el uso de los instrumentos de navegación, los comercializaran después. En el segundo denunciaba irregularidades en los exámenes para pilotos. Naturalmente, encontró la más dura oposición, concitó sobre él severas críticas y terminó aburrido y harto. Falleció honrado y pobre en 27 de Mayo de 1624. Y evidentemente, después de esta brillante página valenciana, llegó el momento de ocuparse de otras cosas referentes a la Historia de la Ingeniería Cartográfica seguramente menos apasionantes pero que imponían con urgencia la evolución de las necesidades políticas y mercantiles de la sociedad de la época.

La navegación y los viajes terrestres se extienden ya a toda la superficie del Globo, uniendo Continentes y cruzando Océanos. Los tiempos de los des-

⁴¹Martín Fernández Navarrete "Biblioteca Marítima Española". Obra póstuma. Tomo I (de dos) pg. 354 y sig. También J.M. López Piñero Opus cit. "... Son en efecto dignas de admiración las que hizo durante el viaje y la sagacidad con que supo aprovecharse de ellas (la doctrina científica). Al avistar el día 14 de diciembre de 1618 la Isla de Santa Catalina se hallaban por el punto de los pilotos muchas leguas a la mar...unos atribuían a haber decaído en las dos anteriores singladuras... otros a las corrientes, comun copa de semejantes yerros....Las observaciones que sobre este fenómeno hizo Diego Ramírez , particularmente a la altura del Cabo de las Vírgenes le convencieron de que no en todas las partes occidentales de la isla del Cuervo noroesteaba la aguja así que aplicado con singular empeño a esta investigación ninguno de sus contemporáneos la trató con mayor amplitud, imparcialidad y discernimiento.... concluyendo que no existían los meridianos magnéticos en que la variación (de la declinación) era nula, la cual crecía y menguaba en un mismo meridiano y en unos mismos paralelos sin orden ni regularidad conocidas...Sus observaciones sobre otros puntos de la náutica y de la física merecerán siempre el aprecio de los que... sepan discernir el mérito de aquellos pocos que, guiándose por la observación de la naturaleza hallaron el camino del acierto entre las contradicciones y envidias de sus contemporáneos...". Edición Facsímil. Maxtor Ediciones. Valencia 2008. Distribución Librería París-Valencia.

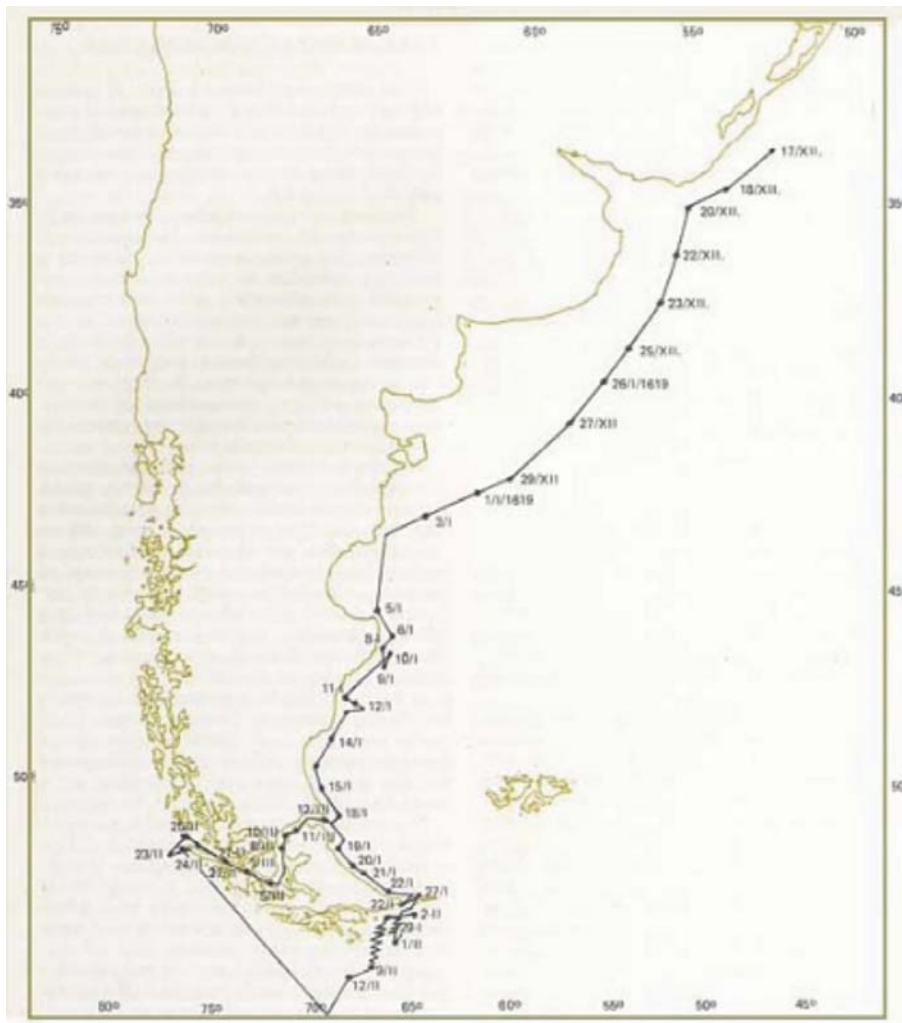


Figura 2.28: Ruta de la expedición de los Hermanos Nodales, con Diego Ramírez como Piloto y Cosmógrafo.



Figura 2.29: Carta de Diego Ramírez de Arellano. Estrecho de San Vicente, Isla de Xátiva, Islas de Diego Ramírez. Antes de la Batalla de Almansa.



Figura 2.30: Detalle de la Carta de Diego Ramírez. Isla de Xátiva.

cubridores se acaban aceleradamente y ahora se sabe a dónde se quiere llegar y es preciso trazar rutas que puedan cubrirse y repetirse con seguridad, en ida y vuelta, y a costo mínimo en tiempo y dinero. Se requieren ya una ciencia y tecnología nuevas y dispuestas a progresar indefinidamente en servicio de una Sociedad en acelerado desarrollo. Los viajes deben dejar de ser arte y aventura y convertirse en práctica profesional. Y para empezar, ahora la cuestión es: ¿Sobre la tierra esférica, cuál es la ruta de rumbo constante? y ¿Cómo construir una carta de navegación útil? . Y la respuesta que se sigue es poco estimulante para el momento científico porque hay que afrontar una curva espérica compleja tridimensional, con dos puntos asintóticos en los Polos. Por otra parte y para empezar. ¿Cuál es de verdad la figura de la Tierra?. Porque es preciso superar la idea de esfera perfecta. Y se empieza a emplear la palabra que define una nueva técnica geodésica: Triangulación. Todo ello constituye el nuevo reto y su narración la nueva historia.

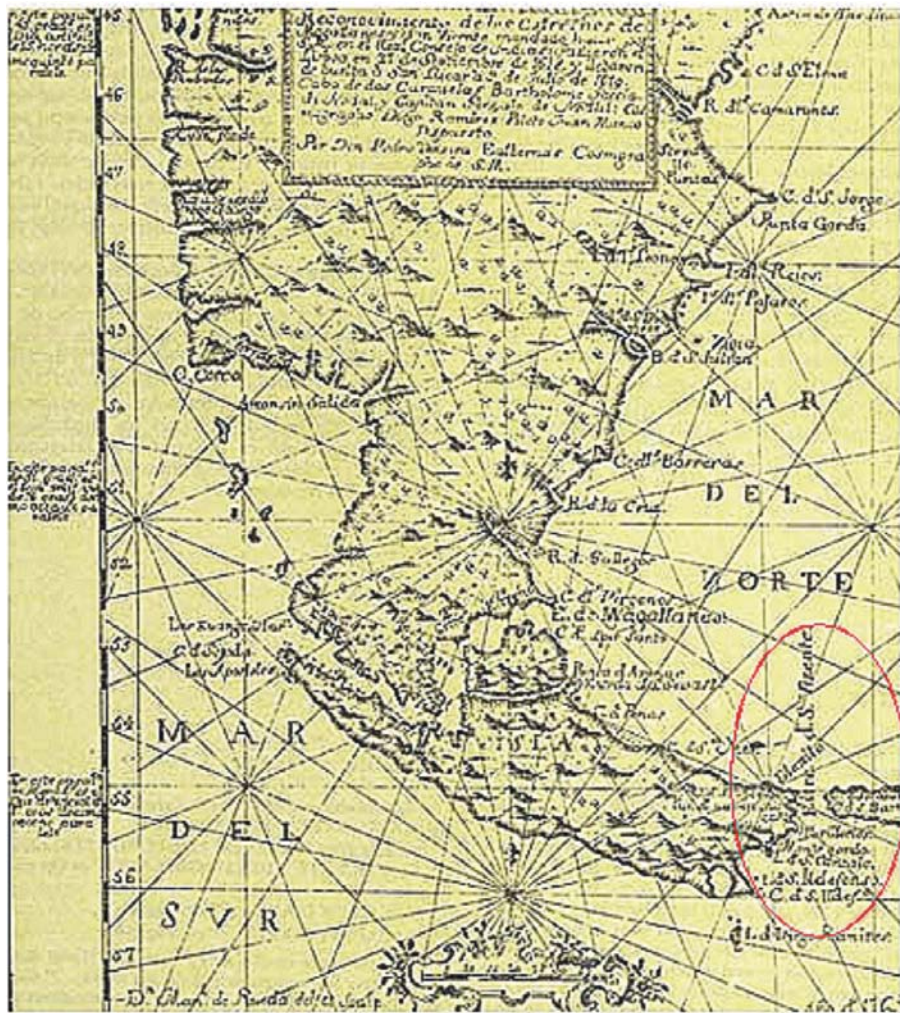


Figura 2.31: Más Cartografía de Diego Ramírez, Isla de Xátiva, Estrecho de San Vicente, Islas de Diego Ramírez, Cabos de San Diego, San Vicente, San Ildefonso, Las Vírgenes....

Capítulo 3

La Ingeniería Cartográfica de la Ilustración. El problema de la forma de la Tierra.

El famoso astrónomo inglés Edmund Halley¹, descubridor entre otros logros del cometa periódico que lleva su nombre, intervino en la expedición “Paramour Pink” (1698-1700) que pretendía diversos objetivos geodésicos y geofísicos destacando el levantamiento del primer mapa de isógonas de la historia de la Ingeniería Cartográfica, trazando específicamente la línea ágena o de declinación cero. Era un último intento desesperado para salvar la práctica de navegación con rumbos magnéticos. El resultado confirmó las más pesimistas predicciones, de acuerdo con los trabajos anteriores de Diego Ramírez que hemos descrito y podían haberle ahorrado a priori a Halley casi todas sus inquietudes. En la Fig.

¹Raymond D'Hollander “Loxodromie et projection de Mercator”.pg.190. Edmund Halley (1656-1742). Astrónomo inglés nacido en Londres, cursó sus estudios en Oxford. Gracias a su investigación y soporte financiero Newton pudo escribir sus “Principia Mathematica”. En 1703 fue nombrado profesor de Geometría en la Universidad de Oxford y en 1720 sucedió a John Flamsteed como Astrónomo Real. En 1696 escribió un artículo que presenta gran interés para nosotros, cuya introducción hace hincapié sobre los descubrimientos matemáticos concernientes a la navegación aportando los resultados obtenidos sucesivamente por Wright, Gregory, Barrow y Wallis, insistiendo sobre el hecho de que los tres últimos han demostrado que la línea meridiana era análoga a una escala de tangentes logarítmicas de los semicomplementos de latitudes, para la que él ideó una sencilla demostración, donde la idea central trata de aplicar al globo terrestre sobre su plano ecuatorial la proyección estereográfica, lo que evita el delicado cálculo de la suma de secantes. En efecto esta proyección, conserva los ángulos y los meridianos aparecen como círculos concéntricos sobre los radios que nacen del centro de la esfera, así las loxodromas se proyectan en espirales cortando esos radios bajo un ángulo constante, es decir, espirales logarítmicas. Conociendo la relación entre el radio y el ángulo sobre las espirales, encontramos fácilmente la relación entre la latitud y la longitud sobre las loxodromas. Él escribe “La línea meridiana náutica no es más que una tabla de longitudes que responde a cada minuto de latitud sobre la línea de rumbos que forma un ángulo de 45° con el meridiano”. Esta frase ilustra perfectamente la clara identidad entre el problema de las cartas de Mercator y de las loxodromas por lo que su estudio queda completamente resuelto.



Figura 3.1: Mapa representativo de la red de isógonas en el Océano Atlántico según Halley. (1700). Las brújulas superpuestas de la derecha son del siglo XVI. La de la izquierda, con alidada, del XVII. En trazo grueso, la línea ágona.

3.1 se aprecia de nuevo la irregularidad de las isógonas obtenidas, representando en trazo grueso la ágona y, lo que es peor, si se compara con el posterior trabajo del Profesor W. Van Bemmeler (Fig. 2.12), es patente que ambas redes son muy distintas, confirmándose la sensible variación en el tiempo de la declinación magnética.

Un último esfuerzo de evolución y supervivencia consistió en superponer sobre el portulano una red de paralelos y meridianos con objeto de posicionar con ellos y a estima el navío. Según se dijo, ya se había operado así con anterioridad simplemente para facilitar el trazado de rumbos, pero ahora el objetivo es muy distinto. Con dificultad se podían llegar a ubicar en la cartas puntos y lugares destacados, pero su interpolación medianamente aceptable era muy poco precisa. Y como las deformaciones de la carta propiciaban que aparecieran en el mismo paralelo, o mejor, pseudoparalelo, puntos de latitudes reales muy distintas, el resultado era heterogéneo e impreciso, casi aleatorio. Algunas cartas ya

habían adoptado la solución, basada solamente en la práctica náutica, de separar los paralelos de forma creciente con la latitud, pero con escaso rigor científico y menos resultados útiles. España y Portugal, por medio de la Casa de Contratación de Sevilla y la Escuela de Sagres trabajaban sin descanso². El Padrón Real, Fig.3.2, o Cartografía Oficial española producido y conservado por la Casa era el mejor producto del momento, aunque claramente insuficiente. En cualquier caso, y a pesar de todos los esfuerzos más o menos afortunados la pérdida de isogonalidad era norma y no excepción y una carta náutica geoméricamente no conforme resultaba técnicamente inútil o muy deficiente. Con semejante fiabilidad, las cartas así construidas, llamadas apropiada y generalmente “planas”, según hemos visto, estaban condenadas a desaparecer.

Es indudable que ha llegado el momento en que es un imperativo social, político y de buen gobierno de las naciones europeas progresar en Ingeniería Cartográfica a fin de fijar con suficiente exactitud la posición de los navíos y trazar sus derrotas por sus coordenadas de latitud y longitud y la brújula de los mareantes tiene sus días contados³.

La determinación de la latitud no ha constituido nunca mayor problema. Se conoce desde tiempo remoto que en el hemisferio boreal basta en primera aproximación con tomar la altura de la Polar sobre el horizonte. Y en los dos hemisferios con la del Sol, en momento adecuado y seguida del correspondiente cálculo. Y la antigua ballestilla, o el astrolabio son suficientes para ello. Pero la decisión que se espera no se lleva a la práctica antes porque la determinación

²M.Chueca et alt. “Compendio de Historia de la Ingeniería Cartográfica”. Opus cit. pg. 118 y sig. Los portugueses llegaron primero con la Escuela de Navegación de Sagres, seguida de la Casa de la India y la “Junta dos matemáticos” de Lisboa entre otras instituciones. Los españoles empezaron algo más tarde con la Casa de Contratación de Sevilla y ambas naciones en paralelo destacaron de las demás y compitieron entre sí en producción y calidad. Las cartas, libros y trabajos del portugués Pedro Núnes, o Núñez, y los españoles Alonso de Santa Cruz, Pedro de Medina y Martín Cortés entre otros muchos se difundieron por toda Europa pg 141 y sig. Les faltó muy poco para descubrir la carta esférica, pero les faltó. Contéplase como se quiera, en la Casa de Contratación de Sevilla, hace cinco siglos, se impartía Ingeniería Cartográfica al máximo nivel científico asequible en su tiempo y con la dedicación de los mejores medios materiales y humanos. Se empezó gracias a la comprensión, sensibilidad y apoyo de unos buenos gobernantes y con la respuesta entusiasta de un pequeño grupo de colaboradores de la más alta calificación profesional y científica. Y se dispuso en Sevilla, España, de la mejor ingeniería cartográfica del mundo. Luego, en el devenir del tiempo y después de pasar por tristes acontecimientos, la Casa de Contratación se trasladó a Cádiz en 1716 y desapareció en 1790. Para entonces la ingeniería cartográfica de vanguardia hacía tiempo que se había trasladado a los Países Bajos, cuando todavía eran España. Luego dejaron de serlo. Nadie se preocupó por la situación durante mucho tiempo. España dejó rápidamente de contar en lo que concierne a la Ingeniería Cartográfica Occidental, lo que supone simplemente no existir, individualidades heroicas aparte, científicamente hablando.

³Ya hemos citado la inquietud de Luis Vives desde Lovaina. Ahora la inquietud es ya común en toda Europa. Así, Davis Buisseret “La Revolución Cartográfica en Europa” Opus. cit. Pg. 40 y sig. “El mismo año en que Vives publicó su gran obra, Sir Thomas Elyot 8C, 1490 – 1546) publicó –The booke named the governor- la obra que expone más plenamente la utilidad de los mapas en la mente de los primeros humanistas modernos.....Elyot llevó la idea del uso del mapa un gran paso más allá al sugerir el uso administrativo de la Cartografía. Consultando el mapa, el gobernante podrá ver - donde empleará su estudio y su tesoro -..... su libro representa un hito destacado en la adaptación imaginativa del uso de los mapas en asuntos de Estado”.



Figura 3.2: Carta llamada de Salviatti (1524). Tenido por Padrón Real y atribuido a Nuño García de Toreno. Regalo de Carlos I al legado del Papa, cardenal Juan Salviatti. Planisferio representando la costa conocida de América. Era insuficiente para el buen servicio de la Sociedad de su tiempo. Biblioteca Laurenziana de Florencia.

de la longitud es un problema mucho más arduo. Hasta el extremo de que no se resolverá del todo mientras no se cuente a bordo con cronómetros de precisión que permitan “conservar el tiempo” y completar así los datos de medición de la altura del sol. Entretanto, se llegan a ofrecer premios fabulosos que nadie es capaz de cobrar⁴. La solución definitiva no llegará hasta entrado el siglo XX, cuando puede recibirse por radio la hora transmitida desde los diversos Observatorios Astronómicos Nacionales.

El planteamiento del problema según lo expuesto es simple y su vigencia viene de antiguo: Para que una carta náutica sea útil es necesario lograr que la derrota del barco navegando con rumbo fijo se represente en ella mediante una línea recta, que debe formar con el meridiano, también representado por una recta, el mismo ángulo que el rumbo. De esta forma el barco es manejable y la navegación puede practicarse de forma clara y precisa e interpretarse y llevarse a la práctica sin duda ni confusión.

La obsolescencia de los portulanos, inevitable como en cualquier obra humana, nos ha llevado a plantear el problema de cuál es la curva sobre la esfera terrestre de rumbo constante y cómo debe expresarse geométrica y analíticamente, deduciendo rigurosamente que la solución es una espiral tridimensional con dos puntos asintóticos. Fig 3.3(izquierda).

Y avanzando en lo expuesto y como corolario, es esencial plantearse: ¿Cómo es posible representar sobre una carta de navegación dicha curva mediante una recta que corte a los meridianos, representados por rectas paralelas separadas distancias proporcionales a la longitud, con un ángulo igual al rumbo?. En este caso, teniendo en cuenta que la esfera no es desarrollable directamente sobre un plano, es preciso acudir a una adecuada transformación geométrica proyectiva esfera-plano. Y al fin la solución llegó de los Países Bajos, entonces todavía pertenecientes a España, y se debió al sin lugar a dudas más experto Ingeniero Cartógrafo del momento, el holandés Gerard Kremer, más conocido por su seudónimo latino “Mercator”⁵ hacia 1569, descubriendo las cartas llamadas

⁴vva “Historia de la Cartografía”. Opus cit. Pg. 94. Así dice Cotarelo en su muy documentada monografía sobre el P. José de Zaragoza en “Estudios sobre la Ciencia Española del Siglo XVII”: “seis mil ducados de renta perpetua, dos mil más de vitalicia y mil de ayuda de costa, amén de la gloria, eran cebo suficiente para atraer sabios de todos los países y avivar el ingenio de una caterva de inventores y arbitristas”. Fueron vanos todos los intentos hasta la invención del reloj de péndulo compensado en 1724.

⁵Gerard Kremer (a) Mercator, (1512-94), nació en Rupelmonde, Flandes y fue discípulo en Lovaina del ilustre cartógrafo, astrónomo y matemático Gemma Frisius. Como Jerónimo Muñoz. Sus más importantes publicaciones fueron: un mapa de Flandes en 1540, dos globos terráqueos encargo de Carlos V en 1551, el famoso mapa de Europa en 1554, trazado en proyección cónica secante en las latitudes de 40° y 60° en el que redujo la longitud del Mediterráneo a 53°, modificando la tradicional estimación de Ptolomeo, su Mapamundi Náutico en 1569, y su Atlas, que no llegó a ver terminado, ocupándose de ello su hijo Rumold que lo publicó en 1595, un año después de su muerte. Fue acusado de protestantismo y seguramente por ello buscó asilo en la Universidad de Duisberg donde pasó el resto de sus días bajo la protección de Guillermo V el Rico, duque de Cleveris. Su fama sin embargo le viene esencialmente de la proyección cartográfica a la que dio su nombre, que inicia la ingeniería cartográfica matemática moderna de precisión, titula a las “cartas esféricas” y fue publicada por primera vez en 1569 en forma de Mapamundi, antes citado y con el título de “Nova et accurata Orbis Terrae Descriptio ad usum navigantium acomodata” que dedicó al duque.

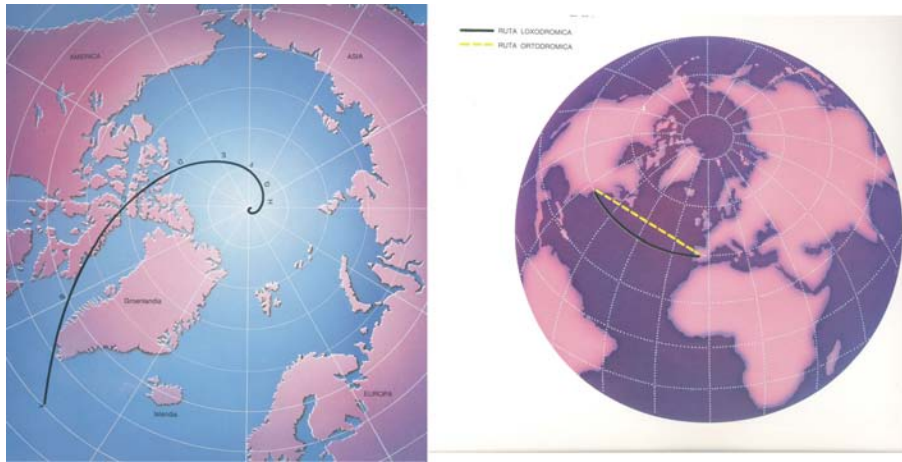


Figura 3.3: Curva espérica de Mercator de rumbo constante (izquierda). Loxodroma y ortodroma (derecha)

“esféricas”. (Véase nota 1 del capítulo 3). Él y su compatriota Abraham Oertel, “Ortelius”⁶, ambos súbditos españoles en su tiempo, son figuras máximas de la Ingeniería Cartográfica mundial de todos los tiempos y fundadores, en especial el segundo, de una verdadera escuela y tradición cartográfica de vanguardia, incluso en saga familiar. Fue gracias a ellos que la escuela holandesa y flamenca de cartografía gozó de gran reputación y dominio del mercado durante los siglos XVI y XVII, alrededor de los cuales proliferaron grandes talleres cartográficos entre los que destacamos los Blaeu y los Janssonius que utilizaron sus planchas como base de los mapas que producían.

En definitiva y en primer lugar, avanzando en la cuestión que en su momento dejamos aparcada, la distancia más corta entre dos puntos sobre una superficie genérica euclídea tridimensional se conoce en Teoría Matemática de Superficies precisamente con el nombre de línea geodésica. Es fácil deducir por

⁶ Abraham Oertel (a) Ortelius nació en Amberes en 1527, en una familia muy acomodada. Grabador e iluminador de mapas en sus comienzos se dedicó también a comerciante de antigüedades en lo que llegó a ser un experto. Fundador de una saga de cartógrafos, su espíritu comercial, añadido a su elevadísima calidad científica y técnica, le llevó de “best seller” en “best seller”. A él se debe el “Theatrum Orbis Terrarum”, dedicado a Felipe II y fechado en Amberes en 1570, que es justamente considerado el primer Atlas moderno en 53 planchas grabadas en cobre e iluminadas a mano. Citaba en él la colaboración, de una forma u otra, de 87 cartógrafos cuya obra reconocía y valoraba altamente. La primera edición del Atlas se agotó en tres meses. Desde 1573 hasta 1624, sucesivas ediciones y ampliaciones en siete idiomas recibieron pareja acogida de estudiosos, profesionales y público en general. Más adelante y hasta nuestros días no cesan las reimpresiones, ahora ya como libro de Arte y Cartografía Histórica. Amigo y compañero de trabajos y viajes de Mercator, no se le conocen dificultades políticas ni religiosas. Antes bien, llegó a ser cartógrafo oficial de Felipe II. Se le debe una proyección a la que dio su nombre e hizo muy popular representando el Mapamundi con el Antiguo y Nuevo Mundo en dos círculos hemisféricos con meridianos curvos y paralelos rectos. Murió en 1598.

qué se denomina así. Efectivamente, sobre la Tierra o Geoide, según vieja etimología griega, considerada como un elipsoide llamado de referencia o aproximación⁷, es una línea de doble curvatura definida en cada punto de su trazado por el triedro intrínseco y los radios de curvatura principales. En primera aproximación, supuesto esférico el globo terrestre ambos radios son iguales al de la esfera, llamada local, y la geodésica es el arco de círculo máximo que subtiende los puntos considerados⁸. Y como ningún arco de círculo máximo puede cortar a las circunferencias de círculo meridianas con ángulo o rumbo constante, dicha línea, llamada ortodroma⁹, Fig 3.3 (derecha) no puede ser la línea de navegación que hasta ahora hemos manejado.

Otra cosa será la ruta de rumbo constante o loxodroma¹⁰ Fig 3.3 (izquierda), espiral sobre la esfera, que se ha mencionado tantas veces. El problema en definitiva, como hemos visto, es trasladar rigurosamente la loxodroma a un plano o carta representándola por una recta que corte bajo un mismo ángulo o rumbo a una red de meridianos formada por rectas paralelas separadas distancias o longitudes iguales. Por cierto que puede concebirse perfectamente que existan proyecciones o representaciones cartográficas matemáticamente rigurosas, geométricas o no, que relacionen plano y esfera (o elipsoide, o geoide) de forma tal que las rutas ortodrómicas o loxodrómicas se resuelvan en rectas sobre el plano, aunque nunca simultáneamente. Es claro que durante siglos, conscientemente o no, no ha habido más posibilidad que la navegación loxodrómica. En la actualidad la navegación aérea o marítima puede escoger, y las ortodromas ahorran tiempo y dinero.

Se desconoce como llegó Mercator en 1569, con los conocimientos matemáticos de la época, a proyectar y calcular su carta esférica, pero su visión genial le llevó, considerando un punto cualquiera de la curva esférica de rumbo fijo a enunciar la condición de conformidad de la proyección y correspondencia carta – esfera, con la hoy evidente y clásica ecuación diferencial

$$\frac{dx}{R \cos L dM} = \frac{dy}{R dL}$$

⁷Se han calculado y propuesto varios. Sucesivamente los de Delambre en 1810, Struve en 1860 (utilizado en la moderna Geodesia Española establecida por el Instituto Geográfico en los siglos XIX y XX), Hayford en 1924, Krasovski en 1948 y el Internacional WGS84 en 1984, de aplicación global. También Everest (1830), Airy (1831), Bessel (1840), Clarke (1866 y 1880), menos utilizados en su tiempo y hoy un simple recuerdo histórico. Sus características, ejes y excentricidad pueden encontrarse en cualquier manual de Geodesia. P.ej. Manuel Chueca, “Lecciones de Geodesia” Universidad Politécnica de Valencia. Valencia 1988.

⁸Manuel Chueca “Lecciones de Geodesia” Universidad Politécnica de Valencia. Valencia 1988. pg.17 y sig. Los radios de curvatura principales en un punto del elipsoide de aproximación y Datum adoptados son los del meridiano del lugar y sea ρ y el vertical primario, o sección normal al meridiano pasando por dicho punto y sea N . El radio de la esfera local se toma generalmente como $R = (\rho N)^{1/2}$. La geodésica resultante entre dos puntos será, además de la distancia más corta entre ellos sobre el elipsoide y por tanto, única, la curva lugar de los puntos en que el plano osculador es normal al elipsoide (contiene a las sucesivas normales al mismo). Ambas secciones elípticas serán círculos máximos si el elipsoide se aproxima y sustituye por la esfera local.

⁹Del griego ortos, derecho y dromos, carrera, es decir, carrera o ruta recta o derecha. Mínima.

¹⁰Del griego loxos, oblicuo y dromos, carrera, es decir, carrera o ruta oblicua o inclinada.

donde:

(M, L) = coordenadas geográficas (M = longitud, L = latitud) de un punto genérico

(x, y) = coordenadas cartesianas rectangulares del punto homólogo en la carta

R = radio de la esfera local

Siendo,

RcosLdM = rdM = diferencial de paralelo en el punto

r = radio del paralelo local

RdL = diferencial de meridiano en el punto

Y teniendo en cuenta que por definición

$$x = KM = RM$$

adoptando K = constante = R, basta ya con integrar

$$y = \int \frac{R}{\cos L} dL = R \ln \tan\left(\frac{\pi}{4} + \frac{L}{2}\right)^{11}$$

y junto con

$$x = RM$$

queda resuelto rigurosamente el problema sobre la esfera.

Se han establecido diferentes hipótesis acerca de la separación progresiva de los paralelos que utilizó Mercator a través de los estudios realizados en su carta de 1569.

Antes de entrar en detalle sobre ellas, explicaremos las motivaciones que Mercator expresa en ella para graficar las llamadas latitudes crecientes en sus cartas.

Dice así:

- “ Extender sobre un plano la superficie de la esfera para que las posiciones de los lugares se correspondan entre ellas tanto en lo que concierne a la dirección y distancia verdaderas como en lo que concierne a las longitudes y latitudes correctas”.
- “Que la forma de las regiones se conserve tanto como sea posible, tal como aparece en la esfera. Con esta intención, debemos de emplear una nueva proporción y una nueva disposición de los meridianos con respecto a los paralelos”. En las cartas con meridianos curvos: “deformamos tanto sobre las extremidades las formas y las posiciones de las regiones a consecuencia de la incidencia oblicua de los meridianos sobre los paralelos, donde no se pueden reconocer ni respetar la relación de distancia”.

¹¹La integral es muy sencilla. Basta con escribir: $I = \int \frac{1}{\cos L} dL = \int \frac{1}{\operatorname{sen}\left(L + \frac{\pi}{2}\right)} dL = \int \frac{1}{2 \sin\left(\frac{L}{2} + \frac{\pi}{4}\right) \cos\left(\frac{L}{2} + \frac{\pi}{4}\right)} dL = \int \frac{\cos\left(\frac{L}{2} + \frac{\pi}{4}\right)}{2 \sin\left(\frac{L}{2} + \frac{\pi}{4}\right) \cos^2\left(\frac{L}{2} + \frac{\pi}{4}\right)} = \int \frac{1}{2 \tan\left(\frac{L}{2} + \frac{\pi}{4}\right) \cos^2\left(\frac{L}{2} + \frac{\pi}{4}\right)} = \ln \tan\left(\frac{L}{2} + \frac{\pi}{4}\right) + cte. = \ln \tan\left(\frac{L}{2} + \frac{\pi}{4}\right)$ pues para L=M=0, x=y=0, Cte=0

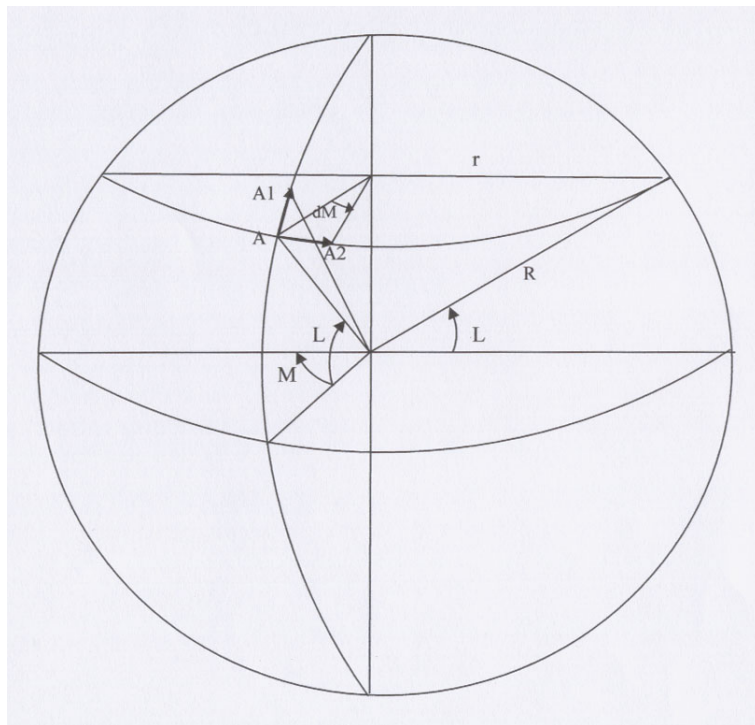


Figura 3.4: Representación gráfica de la proyección Mercator

- Sobre las “cartas marinas de los pilotos”, con meridianos rectilíneos y paralelos, los grados de longitud “van aumentando cada vez más en relación a su valor sobre la esfera...de tal manera que los grados de latitud crecen muy poco(traducido del latín “minime”)”

Las hipótesis podemos clasificarlas según métodos globales en los que una fórmula única permite obtener independientemente los diversos puntos del meridiano. Métodos por cuadraturas o llamados de incrementos, en los que los puntos del meridiano se obtienen por adición de elementos individuales o segmentos sobre el eje de las ordenadas de la carta. Por último los métodos por loxodromas donde se procede a graduar en latitudes crecientes las loxodromas de orientación diversa. Muy someramente vamos a enunciar algunas de las hipótesis estudiadas.

La hipótesis de A.E. Nordenskjöld (1889) utiliza el método de incrementos para calcular su fórmula de aproximación siguiente

$$Y(\varphi + h) - Y(\varphi) = \frac{h}{\cos(\varphi + \frac{h}{2})}$$

Siendo $Y(\varphi)$ la distancia al ecuador del paralelo de latitud φ sobre la carta
 h =intervalo en grados de cada paralelo

Podemos comparar en la siguiente tabla los valores calculados por Nordenskjöld y los valores de latitud de Mercator.

φ	Y_N	$Y_{Mercator}$	$Y_{Marguet}$
0	0	0	-
10	10,6382	10,1245	-
20	20,3910	20,8261	-
30	31,4248	31,4163	31,00
40	43,6325	43,4645	42,50
50	57,7746	57,3755	56,25
60	75,2091	74,5467	72,50
70	98,8711	98,0052	96,00

La hipótesis del comandante F. Marguet¹² (1931) utiliza el método de las loxodromas tal como sigue,

Sea B_1 el punto de origen sobre el ecuador y su homólogo el punto b_1 en proyección. Marguet supone que Mercator con ayuda de un instrumento flexible traza un primer arco de loxodroma $\widehat{B_1B_2}$ de azimut V en B_1 que termina en B_2 con azimut $V + dV$ siendo $dV = 1^\circ$

El arco $\widehat{B_1B_2}$ aparece representado en la Fig.3.5 con trazo discontinuo. En el punto B_2 traza con el mismo instrumento otro arco de círculo máximo $\widehat{B_2B_3}$ de azimut V en B_2 y de azimut $V + dV$ en B_3 y continúa del mismo modo en B_3 . Uniendo los puntos $B_1B_2B_3\dots$, Mercator obtiene la curva representada en la figura en trazo continuo que sabemos es muy parecida a la loxodroma de azimut $V + \frac{dV}{2}$.

¹²F. Marguet, “Le planisphère de Mercator”. Revue générale des Sciences pures et appliquées. Mars 1918.

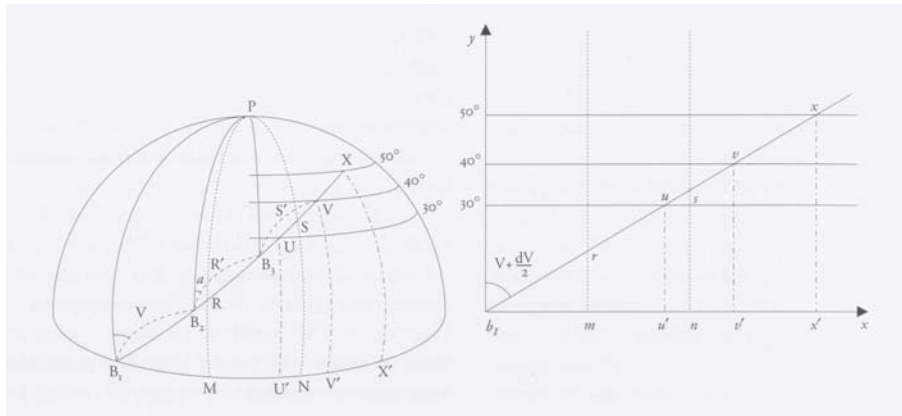


Figura 3.5: Método por loxodromas

Llamamos R, S...a los puntos de intersección de esta curva con los meridianos de 10° , cortando al ecuador en M,N... Tenemos, $\widehat{B_1M} = 10^\circ$, $\widehat{MN} = 10^\circ$...

Llamamos U, V, X...a los puntos de intersección de esta curva con los paralelos 30° , 40° , 50° ...

En proyección, llevamos sobre el ecuador b_1x : $b_1m = \widehat{B_1M} = 10^\circ$; $mn = \widehat{MN} = 10^\circ$, etc.

Trazamos la loxodroma de azimut $V + \frac{dV}{2}$, que sabemos es una recta en proyección Mercator.

Designamos por r el punto sobre el meridiano m, homólogo de R sobre la esfera, siendo S el punto de la loxodroma situado sobre el meridiano n, homólogo de S sobre la esfera. Sea u en proyección el homólogo sobre la esfera del punto U de latitud 30° ; construimos sobre el ecuador $b_1u' = B_1U'$ la paralela a b_1y pasando por u' y encontramos la loxodroma en el punto u buscado de latitud creciente 30° . Debemos construir por u la paralela a b_1x para tener el paralelo de latitud creciente 30° . Repetimos esta construcción por v, homólogo de V de latitud 40° . Llevamos $b_1v' = \widehat{B_1V'}$ sobre el ecuador, la paralela a b_1y pasando por v' y encontramos la loxodroma en el punto v buscado, de latitud creciente 40° . Operamos de la misma forma para x' y x punto de latitud creciente 50° , etc. Se pueden ver los resultados obtenidos con este método, comparados con el método anterior y los resultados obtenidos por Mercator en la tabla que antecede a esta hipótesis.

La “carta esférica” ya es una realidad. La navegación loxodrómica un hecho científico y solamente hay que tener en cuenta la fuerte distorsión de escala que se produce con el incremento de “y”, llamada “variable de latitud creciente”. Por ello, a latitudes superiores a 80° el método no tiene aplicación.

Como se deseaba, la red de meridianos son rectas paralelas separadas distancias proporcionales a la longitud, la de paralelos está formada por sus trayectorias ortogonales que también son rectas paralelas separadas por distancias proporcionales a la variable de latitud creciente. La transformada del Ecuador

es el eje de abscisas Ox y el de ordenadas Oy la transformada del meridiano que se adopte por origen.

Es obvio pues que sobre la carta de Mercator la ortodroma será una curva y que queda abierto el camino para definir por procedimientos matemáticos adecuados proyecciones conformes o no en que suceda lo contrario, o cualquier otro supuesto. Y con ello, toda la doctrina de la Cartografía Matemática.¹³

En la Fig. 3.6, comparación de la nueva carta esférica (izquierda) y la antigua carta plana (derecha).

Las ecuaciones sobre el elipsoide se deducen también según un procedimiento análogo¹⁴ resultando

$$x = aM$$

$$y = a \left[\ln \tan \left(\frac{\pi}{4} + \frac{L}{2} \right) - \frac{e}{2} \ln \frac{1+e \sin L}{1-e \sin L} \right]$$

donde

a = semieje mayor de la elipse meridiana

e = excentricidad

a la variable *y* se le denomina “de latitud isométrica creciente”

En cuanto a Ortelius, para nosotros tiene la especial importancia de ser autor del primer mapa del Reino de Valencia que se conserva y que incluyó como plancha independiente en su Atlas “Theatrum orbis terrarum” edición de fecha 1584¹⁵, en su edición latina y con el título “Valentia regni, olim Contestanorum

¹³Manuel Chueca “Lecciones de Cartografía” pg.26 y sig. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia 1990. Definida analíticamente una representación o proyección cartográfica por sus ecuaciones de transformación $x = f(L,M)$, $y = g(L,M)$, directas, y sus recíprocas con la notación establecida podemos destacar como principales las: Autogonales, conformes, isógonas u ortomorfas , que conservan los ángulos. Equivalentes o autálicas, que conservan las superficies. Perigonales o equivalentes con mínima deformación angular. Perihálicas o pertenecientes a cualquier sistema, al que agregan su característica específica de mínima deformación superficial. Perimecoicas, de cualquier sistema con mínima deformación lineal. Aphilácticas, sistemas híbridos perihálicos/perimecoicos. Automecoicas, que conservan las longitudes en determinadas direcciones. Perspectivas, que realmente “proyectan” la superficie del globo terrestre sobre un plano y desde un punto de vista: a) en el centro de la tierra = Proyección Gnomónica. b) en la superficie de la tierra o, menos frecuentemente, fuera de ella = Proyección estereográfica. c) en un punto impropio = Proyección ortográfica. Los desarrollos cilíndricos sobre un cilindro de revolución cuyo eje coincide con un diámetro del globo terrestre pueden ser: Directos, con eje en la línea de los polos. Transversos, con eje en el plano ecuatorial. Oblicuos, con eje en cualquier diámetro. Los desarrollos cónicos se realizan sobre un cono con eje generalmente en la línea de los polos. Otras proyecciones o representaciones pueden realizarse con cualquier criterio particular lógico. Son transformaciones especiales como las esféricas, globulares, discontinuas, estrelladas, etc....sin contar con las numerosas conocidas por el nombre de sus inventores, Mollweide, Bonne, Tissot, etc.... En todas ellas deben definirse los módulos de deformación lineal, superficial y angular en cualquier punto y distinguirse las líneas: automecoicas, que se transforman de elipsoide o esfera a plano conservando su longitud, es decir, con modulo unidad de alteración lineal en toda su longitud. Isométricas, que se transforman con módulo de alteración lineal constante. Isomorfas, trayectorias ortogonales de la red de isométricas.

¹⁴Ibidem.pg.36 y sig

¹⁵Tenido por el primer Atlas Moderno, se completó en 1595 y desde su aparición en 1570 hasta su muerte se publicaron 25 ediciones. El mapa del Reino de Valencia incluido a par-

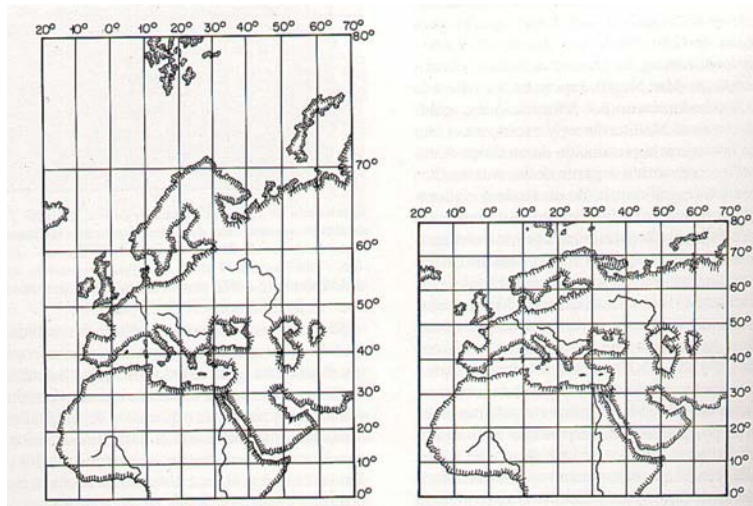


Figura 3.6: Comparación de cartas esféricas y planas

si Ptolemaeo, Edetanorum si Plinio credimus, typus”. Ortelius sufrió también críticas, incluso acerbadas, especialmente motivadas por defectos de escala y poco rigor en recogida y validación de información toponímica y de relleno. La de Gaspar Escolano en 1610 fue dura, hasta la alusión personal. Le llegó a llamar “polilla”¹⁶ al pobre Ortelius.

Realmente en nuestra opinión, y en cuanto a la métrica del mapa puede encuadrarse entre las mejores de Ortelius, es decir, entre los mejores de su época. Basta con comparar el perfil de la costa con cualquier cartografía moderna. Pero es cierto que él mismo reconoce honradamente sus fuentes en el texto correspondiente del Atlas Fig. 3.8. Su informador era “Don Fadrique o Federico Furió Ceriol, natural de Valencia, Gentilhombre de Su Majestad el Rey Felipe II, gran político, celebrado así por los españoles como por los italianos, ingleses y alemanes. Murió en Valladolid en 1592”.¹⁷ Anteriormente, en la nota 13 hemos aportado más datos a este tema. Y Don Federico, que era un erasmista impor-

tir de 1584 es el más antiguo conocido y fue levantado por Ortelius a partir de los apuntes tomados por Jerónimo Muñoz mientras comprobaba en las comarcas valencianas el método de triangulación de su maestro Gemma Frisius. No obstante, en las ediciones posteriores a 1603 se señala como responsable de la información de base a Federico Furió, preceptor de Felipe II. Editado en Amberes, mide 347 x 495 mm., a escala 93 mm / 9 leguas españolas (ca. 1: 539.200). Datos del catálogo de la Exposición “Cartografía Valenciana”, Centro Cultural La Beneficencia, Diputación de Valencia, 16 de Abril a 1 de Junio de 1997, referidos al ejemplar fechado en 1584, de la Colección Valencia, Fundación Giménez Lorente, Universidad Politécnica de Valencia.

¹⁶Gaspar Escolano, Lib. VI, cap I. Valencia 1610. “...no es menor polilla en esta materia el escribir por relaciones como en nuestros días le ha acontecido al curioso Abraham Ortelio, que en el mapa o tabla que, desde Flandes, ha sacado a la luz del Reyno de Valencia en Teatro Geographico, ha desquiciado casi todos los pueblos de sus verdaderos sitios y nombres.”

¹⁷Pie de su retrato, obra de Juan Ribalta. Museo de Bellas Artes de Valencia.

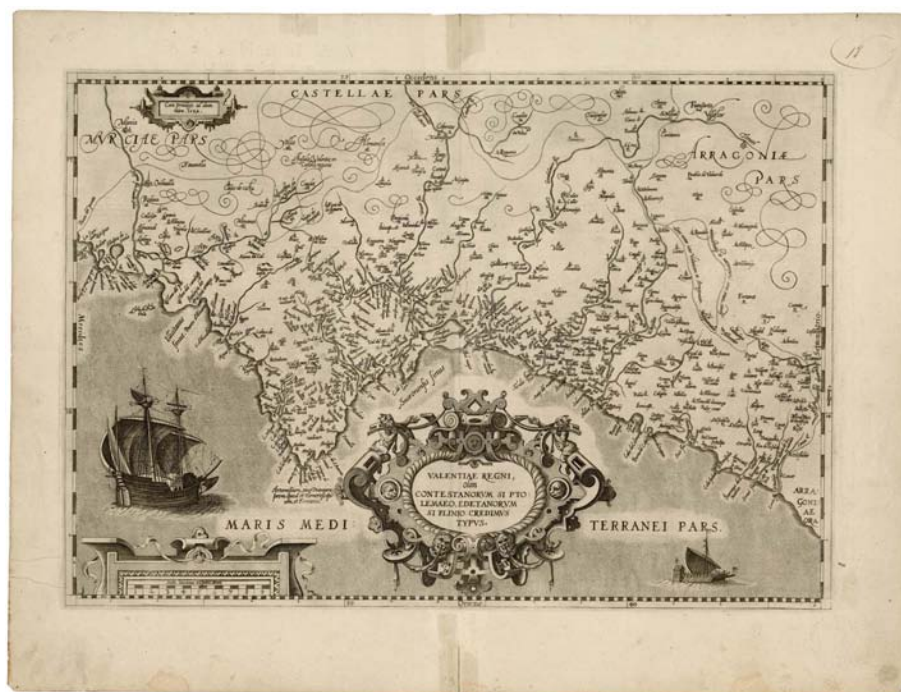


Figura 3.7: Primer Mapa del Reino de Valencia. Atlas de Ortelius 1584. Fundación Giménez Lorente. Universidad Politécnica de Valencia.



Figura 3.8: Abraham Ortelius. Por Pedro Pablo Rubens. Museo Plantin Moretus. Amberes.(izquierda). Federico Furió Ceriol. Por Juan Ribalta. Museo de Bellas Artes. Valencia. (derecha)

tante, no tenía nada de geodesta ni cartógrafo. Por ello fue con toda seguridad simple transmisor de los trabajos de Jerónimo Muñoz, según es comúnmente reconocido.¹⁸

La página de texto de Ortelius de referencia se reproduce en la Fig. 3.9¹⁹, según un facsímil moderno de alta calidad de su “Theatrum Orbis Terrarum”.

Es ya un hecho que a partir de ahora el mapa-instrumento prevalece sobre el mapa-arte y que el profesional que se ocupe de su observación, cálculo y publicación, tecnología, su ingeniería en una palabra, debe tener una formación científica altamente cualificada. Cada vez su perfil debe corresponder más a lo que generalmente se entiende por ingeniero. Y de la mano nos viene un auténtico precursor de los revolucionarios avances que supuso la Ilustración en el campo de la Ingeniería Cartográfica. El valenciano Jerónimo Muñoz, tal vez autor de la primera triangulación topo-geodésica de la historia, con todo lo que ello sig-

¹⁸Victor Navarro, Arsenio Pastor, Encarna Pastor y la colaboración de Vicente Salavert “Jerónimo Muñoz. Introducción a la Astronomía y la Geografía”. Pgs. 47 y sig. Consell Valencià de Cultura. Col.lecció Oberta. Valencia 2004.

¹⁹Abraham Ortelius. “Theatrum Orbis Terrarum”. Edición Facsímil. Telespazio Grupo IRI-STET y Grupo Editoriale Giunti. Florencia 1991. Distribuido en España por EDP Editores. Barcelona 2005. “Ager huius urbis ubique a gente ex mauris oriunda et paternum sive auitum sermonem ac fere vitae morem adhuc retinente, colitur, quod a clarissimo viro Frederico Furio Caeriolano Valentino accepi.” En la versión castellana lo traducía, a partir de 1612 como “Tengo entendido de Federico Furió Caeriolano Valentino, hombre clarísimo, que el terreno de esta ciudad quedó labrado de gente nacida de los mauros y que oy día tienen la lengua y manera de vivir de sus padres y avuelos”. Victor Navarro, et al. “Jerónimo Muñoz. Introducción a la Astronomía y la Geografía”. Opus cit. pg 52.

nifica para la Topografía, la Geodesia y el acceso en general al conocimiento de la métrica, forma y dimensiones del esferoide terrestre, al que dedicamos las siguientes páginas.

3.1. La página valenciana de Jerónimo Muñoz. Un precursor.

Jerónimo Muñoz nació en Valencia hacia 1522. Se graduó en la Universidad de Valencia como Bachiller en Artes en 1537²⁰. Parece ser que también estudió medicina pero no se ha encontrado documentación al respecto. Una vez graduado viajó por diversos países de Europa con objeto de completar su formación. Fue discípulo de Oroncio Finé, Profesor de Matemáticas del Colegio Real de París y de Gemma Frisius, profesor en Lovaina, médico, matemático e ingeniero cartógrafo eminente.

Posteriormente viajó a Italia y allí impartió sus primeras clases de Hebreo en la Universidad de Ancona, con tal éxito que los propios judíos le tomaban por compatriota. No es imposible, según algunos historiadores, que Muñoz fuera converso. De todas formas, su profundo conocimiento de la lengua hebrea le creó en España más problemas que laureles.

Regresó a Valencia a principios de los años cincuenta del siglo XVI, enseñó primero privadamente hebreo y matemáticas, su prestigio creció aceleradamente y en 1563 obtuvo la Cátedra Universitaria de Hebreo, a la que añadió la de Matemáticas en 1565, mereciendo un informe altamente elogioso de los Jurados de la ciudad, legalmente responsables de la administración y gerencia de la Universidad, calificándole de “muy señalado y eminente en todas las ciencias, particularmente Matemáticas y Hebreo” asignándole un salario de 75 libras (1500 sueldos), más 25 libras adicionales de “ayuda de costa”. Muñoz figuraba así entre los catedráticos mejor retribuidos del Claustro Universitario²¹. Fig. 3.10.

En Valencia desarrolla una intensa actividad y su reputación se extiende más y más. Reconocido como una eminencia en toda la Comunidad Universitaria Europea recibe diversas ofertas de contrato con mejoras económicas. Gana la partida Salamanca, a cuya famosa Universidad se traslada en 1578, con unas percepciones económicas y de rango parejas con las más elevadas del momento. Allí trabaja como titular de la Cátedra de Matemáticas y Astronomía, también denominada Astrología, según tradición de la época. Sucedió en el cargo a Hernando de Aguilera, avanzado y sabio profesor que había introducido en su programa las revolucionarias teorías heliocéntricas de Copérnico.

²⁰Victor Navarro et al. “Jerónimo Muñoz. Introducción a la Astronomía y la Geografía” Opus. Cit pag 10. El documento de concesión de grado de bachiller a Jerónimo Muñoz se conserva en el Archivo Municipal de Valencia. Libros de Grados, a-4, 5 de Junio de 1537.

²¹Ibidem pg. 12.”atessa la qualitat de la persona del dit Mestre Munyos, per ser aquell molt senyalat y eminent en totes sciences, senyaladament en Matematiques y Ebraich”. Archivo municipal de Valencia, Manual de Consell, A-89 de 6 de Junio de 1565.

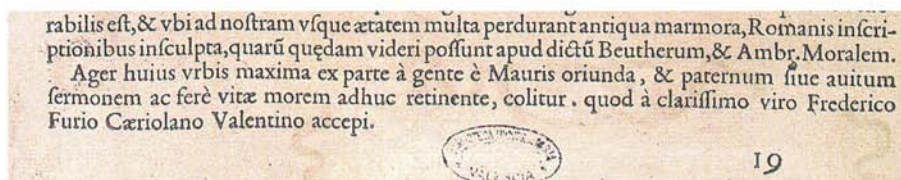
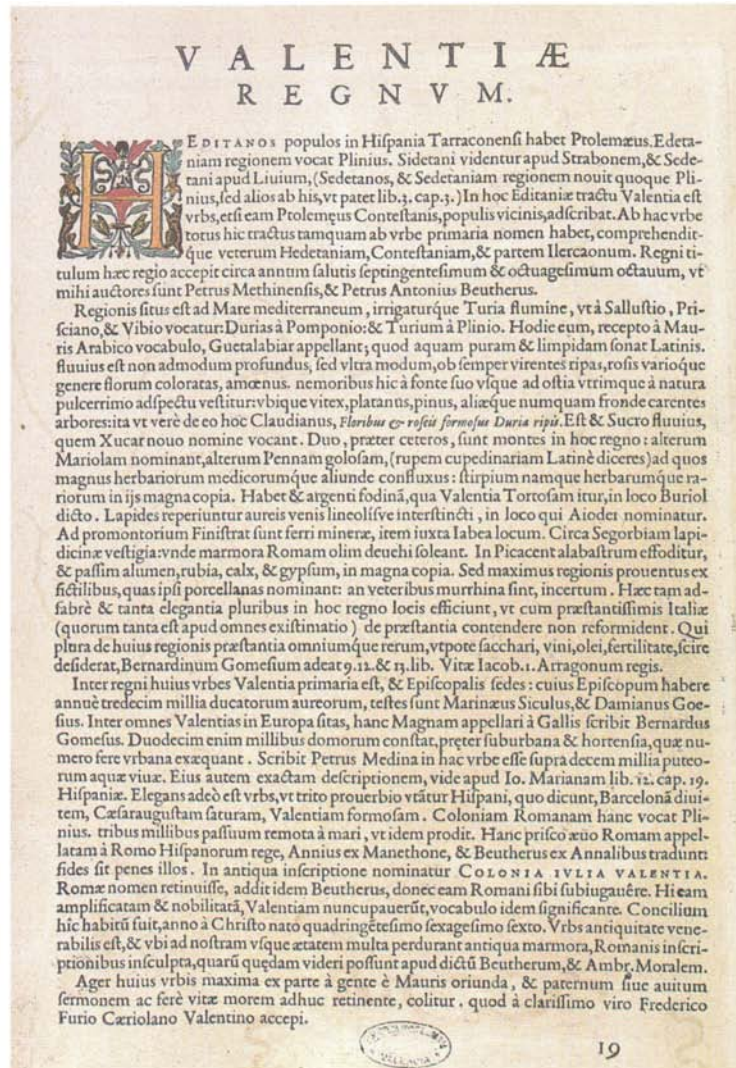


Figura 3.9: Theatrum Orbis Terrarum de Ortelius. Referencia a Valencia , página completa y detalle del último párrafo.

En Salamanca realizó una tarea docente, investigadora y de servicio a la sociedad impecable. Fueron destacables sus servicios técnicos en la ingeniería del proyecto y ejecución de la traída de aguas a Salamanca y también a Lorca, Murcia y Cartagena²². Sus trabajos y sobre todo, sus discípulos, Pedro Ruiz, Bartolomé Antist, Francisco Juan Rubio, Francisco Peña... y muchos más dan testimonio de la creación de una fértil escuela que se prolongó con éxito por mucho tiempo.

Sin embargo, Muñoz fracasó en sus repetidos intentos de volver a Valencia realizados a partir de 1582. A pesar de su fama de reconocimiento internacional y de las intensas gestiones que realizó, especialmente a través de su discípulo ya citado Bartolomé Antist, no hubo manera de conseguir de las Instituciones académicas y no académicas valencianas una retribución salarial simplemente digna. Así, Muñoz hubo de permanecer en Salamanca, donde era querido y respetado, enseñó también hebreo y falleció allí en 1592.

Jerónimo Muñoz publicó en imprenta exactamente cuatro trabajos, dos en Valencia y otros dos en Salamanca. Junto a tan escasa producción impresa, Muñoz fue autor de una caudalosa obra manuscrita. Sus sólidas razones tenía que explican esta sorprendente paradoja y vamos a ellas.

El primer libro fue una Aritmética dirigida a facilitar la teoría necesaria para realizar los cálculos astronómicos, titulada “*Institutiones Arithmeticae ad percipiendam Astrologiam et Matemáticas facultates necessariae*”, editado en Valencia, imprenta de Juan Mey, año 1566. Su segunda publicación fue el “Libro del Nuevo Cometa”, en 1572, imprenta de Pedro de Huete, Valencia acerca del estudio de una supernova aparecida en Casiopea por aquellas fechas. Este trabajo le catapultó a lo más alto de la fama científica internacional, fue traducido al francés, publicado en París, en 1574, imprenta de Martín le Teune y le complicó la vida lo suficiente como para que pensara a partir de entonces que era medida de elemental prudencia difundir sus obras lo menos posible. Muñoz era un adelantado a su época, un ilustrado nacido casi dos siglos antes de tiempo, y estuvo a punto de pagar un alto precio por ello.

En 1578, ya en Salamanca, publicó un folleto de ocho páginas sobre el paso de un cometa en 1577 y un eclipse de luna, y en 1585 su “*Alphabetum Hebraicum cum ratione legendi cum punctis*”, obra filológicamente fundamental para el conocimiento de la lengua hebrea.²³

Su “Libro del Cometa” fue consecuencia de la aparición del extraordinario fenómeno astronómico de una supernova, visible a simple vista en Casiopea, que hoy se clasificaría en el llamado Grupo I. En toda Europa el fenómeno despertó el mayor interés en los estamentos sociales, populares, científicos, y religiosos y en España Felipe II en persona encargó a Muñoz que realizara el oportuno

²²Realizados a petición del Consejero de Castilla, Licenciado Juan Quesada, para lo que tuvo que solicitar y obtener de la Universidad de Salamanca permiso de traslado temporal a Murcia. Trabajó en todos los aspectos relevantes del Proyecto, especialmente en su nivelación y cartografía, determinando también con notable precisión la latitud de Murcia en 37°57'. A un minuto sexagesimal por defecto del valor actual, siglo XXI.

²³Ibidem. Pg. 18. Citamos literalmente “...obra que incluía un tratado sobre los puntos vocales, cuya significación en el hebraísmo posterior a la Políglota de Alcalá ya fue puesto de manifiesto por Menéndez Pelayo”.

Y ab pacte que aqll haja de legir en lodit
studi general vna lico de Ebraich y atesa
la qualitat del a persona del dit mre Mu
nyos per se va qll molt senyalat y eminent
entotes ciencias senyalada met en Mate
matiques y Ebraich per co prouehere q
que vltra les dites Setanta cinch lliures
li sien donades e pagades Vint y cinch
lliures per ajuda de costa prouehint a pi
mateix que lodit mre Munyos no
puga legir con ducta de Matematiques
ni de altres ciencias sino co forma qles cos
titutions de dita vniuersitat

As en hieson ~~india~~ ~~seu~~ ~~hieson~~ ~~alfonso~~ ~~noy~~ ~~ar~~ ~~hieson~~
de ~~va~~

Licenciay
culturas

que sien rebats en fermances e principals
obligats del magre Nofre Martorell

Figura 3.10: Credencial Administrativa nombrando a Jerónimo Muñoz Cate-
drático de Matemáticas y Hebreo de la Universidad de Valencia.



Figura 3.11: Edición española y francesa del “Libro del Nuevo Cometa”, de Jerónimo Muñoz.

estudio, cuyo resultado fue el libro que nos ocupa.

Resumiendo al límite la cuestión, Muñoz calculó con increíble eficiencia la figura de seudorombo esférico que formaba con las tres estrellas más luminosas de la constelación α , β , γ de Casiopea, cometiendo errores respectivos en arco de $54''$, $48''$ y $11'36''$ con respecto a la nova remanente, increíblemente pequeños para la época.²⁴ También determinó sus coordenadas eclípticas y ecuatoriales con el mismo acierto y trató de calcular su distancia a la tierra. El único medio a su alcance era la determinación del paralaje y, como era de esperar, resultó nulo. La consecuencia indiscutible era que la estrella se encontraba a una distancia tan grande que había que situarla en la entonces llamada “región celeste”. Por tanto, había nacido una estrella en el cielo que, desde Aristóteles se tenía dogmáticamente por inmutable e incorruptible. Las consecuencias cosmológicas y, lo que es peor, religiosas, no se harían esperar. Muñoz la llamó cometa, con más que justificada prudencia, y con notable valor agregó que, sin embargo, se parecía mucho más a una estrella fija, y que “en el cielo se hacen alteraciones y corrupciones”.

Curiosamente, la supernova, que fue estudiada por los mejores astrónomos de su tiempo, ha pasado a la historia por el trabajo que sobre ella realizó el danés

²⁴Trabajos del astrónomo Stephenson Clark (1977).

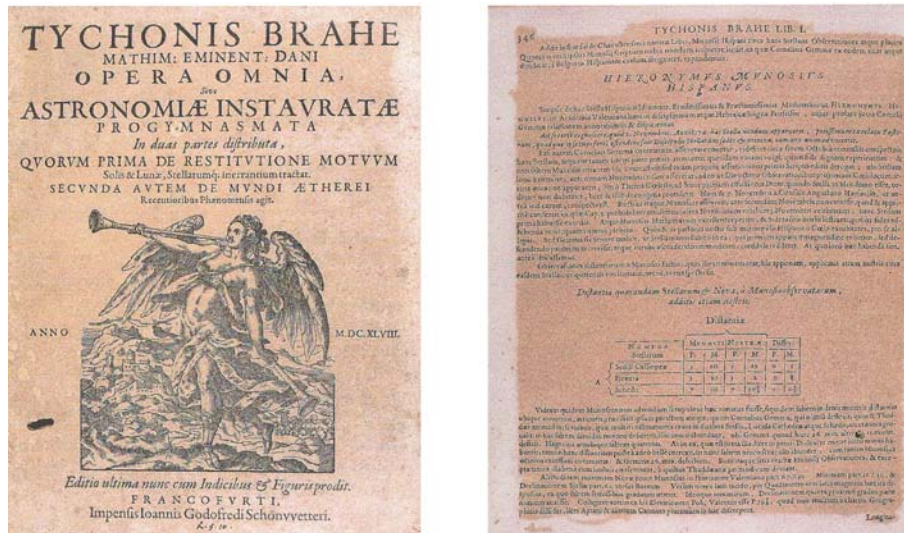


Figura 3.12: Astronomía de Tycho Brahe. Portada y capítulo dedicado al trabajo de Jerónimo Muñoz sobre la supernova en Casiopea.

Tycho Brahe, con cuyo nombre fue denominada, y que, sin embargo, escribe y reconoce que para ello “copió” y utilizó los cálculos de Muñoz.²⁵ El problema religioso se solventó diplomáticamente aludiendo al milagro y a la “potentia Dei absoluta”, el infinito poder de Dios. Tycho Brahe consiguió gloria y fortuna y a Muñoz le llegaron a recordar que sabía demasiado hebreo para ser buen cristiano. Y en cuanto al posible reconocimiento científico, Muñoz reflexionaba amargamente “España no es observadora de astros, ni se colabora con las matemáticas, sino solo con las artes mercantiles. Es imprudente, aún para los más prodigios, querer editar nada científico...”.

Sin embargo la obra manuscrita de Muñoz se sabe de antiguo que fue muy copiosa, abundando la dedicada a apuntes y ayudas a la docencia de sus alumnos universitarios, hoy en buena parte perdida. Se conserva en la Biblioteca Nacional de Madrid un tratado de Astrología, probablemente autógrafo, dedicado a comentar el tratado de esta materia de Abu-Al-Saqr Abd al’Aziz Ibn Uthman ibn Ali al-Qabisi (Alcabitus), traducido al latín en el siglo XII por Juan de Sevilla e impreso varias veces en los siglos XV y XVI. Y gracias al extraordinario trabajo dirigido por Victor Navarro varias veces citado se tiene localizado en diversas bibliotecas de Europa otro conjunto de importantes obras²⁶.

²⁵Tycho Brahe “Astronomiæ Instauratæ Progymnasmata” Imprenta de Juan Godofredo Schön. Frankfurt. 1648. Parece ser que Brahe consiguió la información haciéndose con las cartas e informes que Muñoz había enviado a los astrónomos Thaddeus Hagecius, bohemio, y Bartolomeus Reisacherus, vienés.

²⁶Victor Navarro et alt. “Jerónimo Muñoz. Introducción a la Astronomía y la Geografía” Opus. Cit. pag.18 y sig. Citamos literalmente “... hemos encontrado en diversas bibliotecas europeas, si no todos, una parte sustancial de los trabajos manuscritos, autógrafos o copias

De entre todas ellas y por lo que tiene de esencial para este trabajo, sobresale la “Astrologicarum et Geographicarum Institutionum libri sex”, cuya traducción al castellano como “Seis libros de Instituciones Astrológicas y Geográficas” es parte esencial de dicha obra. En ella se describe con detalle el método de levantamiento topo-geodésico de triangulación “según teoría de su profesor Gemma Frisius de Lovaina descrita en 1533”, en teoría y praxis, incluso con aplicación directa a una cadena de triángulos topográficos en el litoral de Valencia. Detalla instrucciones de trabajo en campo y gabinete y hasta denominación de vértices de estación y visados, Ermita de la Concepción, Puzol, el Puig, Valencia, el Grao... identificables en los croquis que se acompañan, debidos a discípulos conocidos del propio Muñoz. Fig.3.13.²⁷

Desgraciadamente, el conjunto del trabajo se ha perdido, así como la Cartografía del Reino de Valencia y de España que se apoyó en él. Victor Navarro localizó una copia del Mapa de España en la Biblioteca del Estado de Baviera (Fig.3.14), también debida a su discípulo Francisco Juan Rubio en que sobresale la calidad métrica del litoral valenciano. Por cierto, como también sucede en el mapa de Ortelius al que antes se hizo referencia.

No es demasiado atrevido asumir que Muñoz desarrolló y llevó a la práctica la doctrina de su profesor Frisius y fue el primer ingeniero cartógrafo occidental que observó y representó a escala fielmente una cadena de triangulación topográfica de precisión en el litoral de Valencia hacia 1570, apoyando y formando sobre ella el o los consiguientes Mapas, pioneros de la Cartografía que ya se puede llamar moderna. Antes desde luego que la cadena triangulada por el profesor Snellius, de la Universidad de Leyden, Países Bajos, entre Alkmaar y Bergen op Zoom (Breda) en 1616, no más extensa que la de Muñoz, pero que reportó al holandés la fama, mantenida hasta la fecha, de adelantado en la tecnología descrita.

A Muñoz se le cita, al parecer con cierta sorpresa y en algún sitio de la Red²⁸, como un desconocido astrónomo valenciano del siglo XVI, de prestigio europeo.

Sin embargo, queda todavía alguna Universidad Española con buena memoria. En el Campus de Cantoblanco de la Universidad Autónoma de Madrid, en el módulo C-XI, séptima planta, de la Facultad de Ciencias está ubicado un activo Observatorio en el que está emplazado un excelente telescopio dedicado a Jerónimo Muñoz que se emplea especialmente en prácticas de docencia e inves-

de nuestro autor....”Comentarios al segundo libro de Historia Natural de Plinio”... comentarios a los seis primeros libros de los “Elementos”, de Euclides según la versión de Teon y el Comentario de Proclo al primer libro, un texto de Trigonometría Plana, titulado “De sinibus rectis et obliquis”, un estudio al planisferio de Rojas-Helt-Gemma, titulado “De planispheri prallelogrami inventione”, comentarios a la “Optica” de Euclides, un tratado titulado “Theoricarum Planetarum constructio copiosa”... una traducción anotada del Comentario de Teon de Alejandría al Almagesto de Ptolomeo....etc

²⁷Ibidem. Pg 169 y sig. Capítulo 9. “Sobre la descripción de los lugares por medio de los ángulos de posición”.

²⁸“Jeroni Muñoz y la supernova de Tycho”. Un desconocido astrónomo valenciano del siglo XVI fue un científico de prestigio entre sus colegas europeos. EL PAIS. com. Versión para imprimir. 22-04-2010.

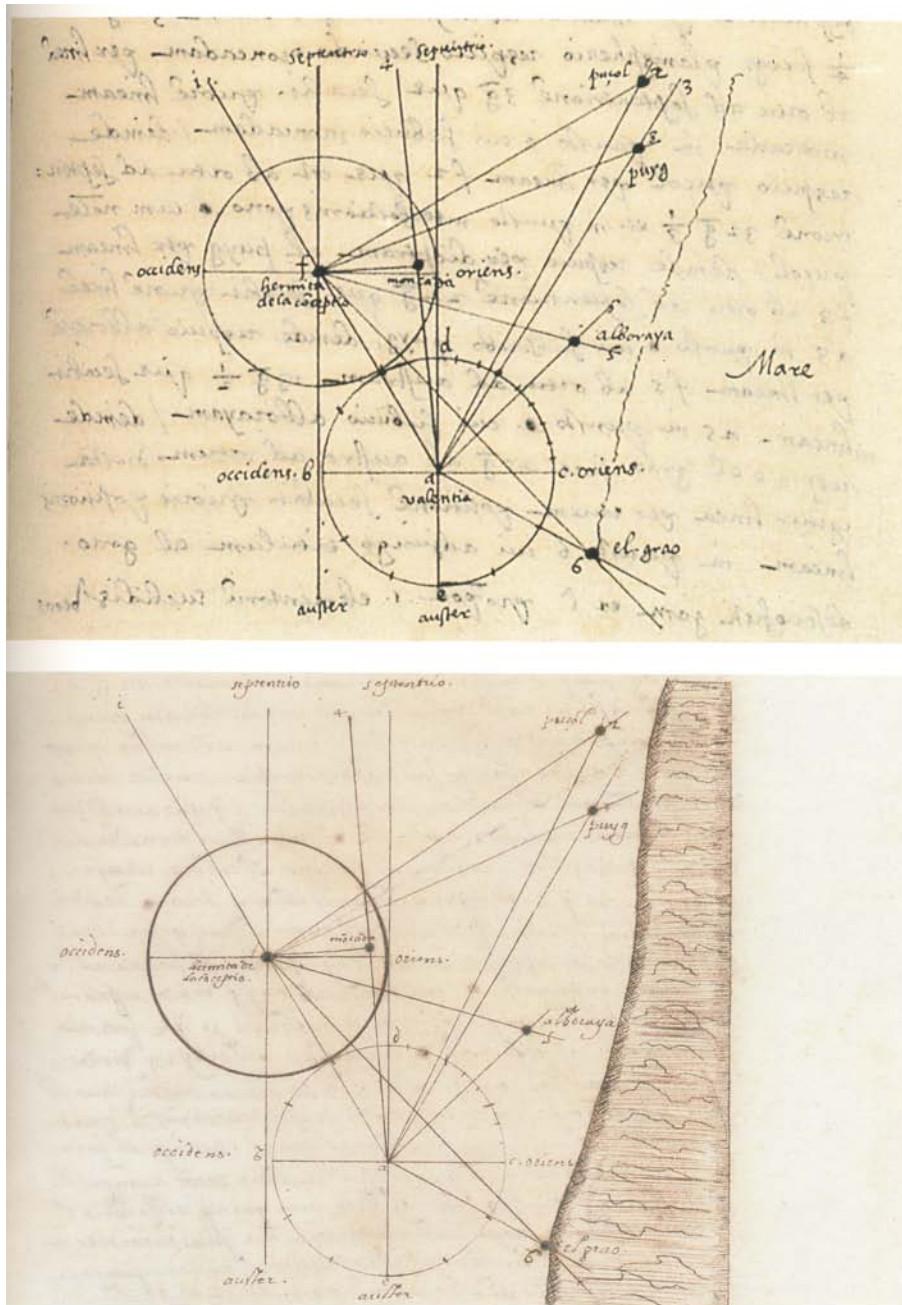


Figura 3.13: Triangulación de la costa de Valencia Copia de Francisco Juan Rubio. “Valentinus”, discípulo de Muñoz. (ca.1570). Biblioteca del Estado de Baviera. (arriba) Copia de Francisco Peña. discípulo de Muñoz. (ca.1610). Biblioteca Apostólica Vaticana. (abajo)

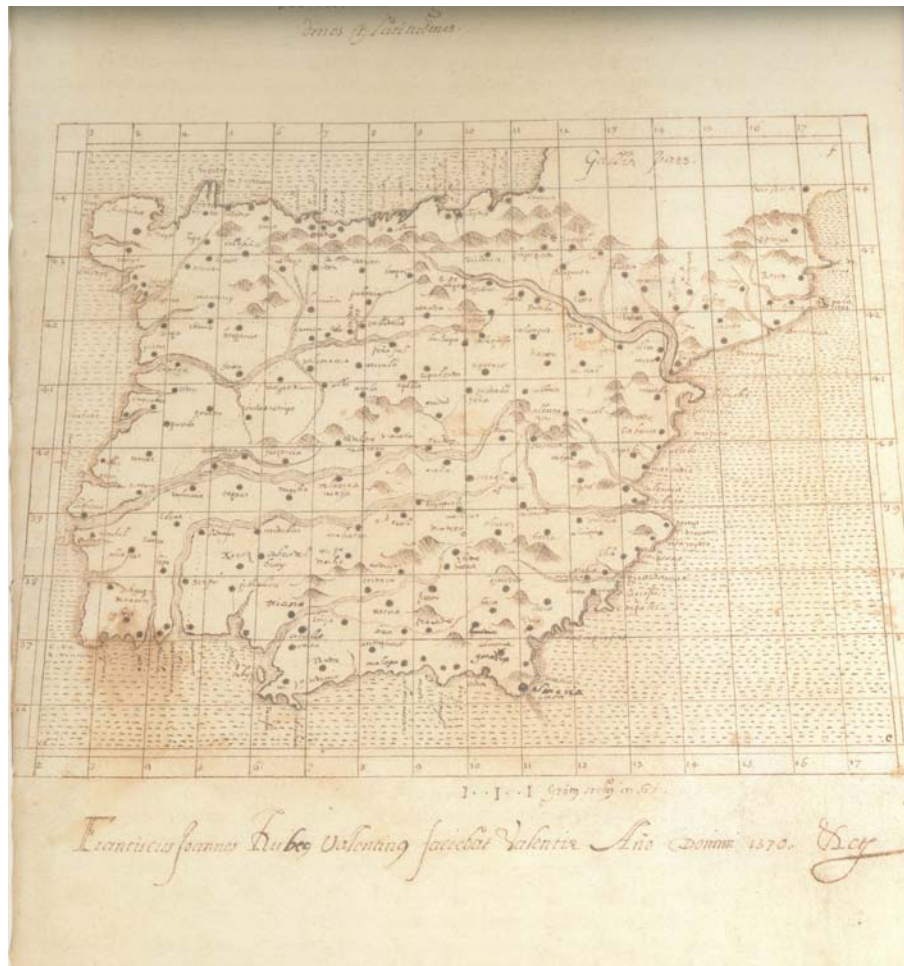


Figura 3.14: Mapa de España por Jerónimo Muñoz. Copia de Francisco Juan Rubio. Biblioteca del Estado de Baviera. Sobresale la calidad métrica de la costa valenciana. Posiblemente triangulada.



Figura 3.15: Telescopio y cúpula “Jerónimo Muñoz”. Universidad Autónoma de Madrid.

tigación, adscrito al Grupo de Astrofísica del Departamento de Física Teórica. Es difícil imaginar un homenaje más justo, ni más adecuado a un personaje que fue, ante todo, español, valenciano, sabio y universitario.²⁹ Fig 3.15.

3.2. El siglo XVIII. Ilustrados, novatores y medidores de meridianos.

La decadencia de las naciones ibéricas se anunciaba en el siglo XVII y era una realidad a principios del XVIII que desgraciadamente parecía aceptarse en ellas mismas como inevitable. España, “el pueblo peregrino que con su espada fatigó a la tierra y abrió surco en el mar”, que cantaba Ricardo León³⁰ estaba

²⁹Citamos literalmente de información de la propia UAM. “El observatorio cuenta con una primera planta anclada en la estructura del edificio, donde se encuentra el cluster del grupo de astrofísica, y allí se realizan trabajos de reducción de imágenes y espectros astronómicos y simulaciones de modelos Cosmológicos. Además de ser utilizado por los miembros del grupo de Astrofísica del departamento de Física Teórica de la UAM, está a disposición de los alumnos de 5º curso de Ciencias Físicas para que realicen las prácticas de reducción de imágenes y espectros, así como las prácticas de observación astronómica. La altura desde el nivel del mar hasta la base del edificio es de 720.5 m. y desde este al punto donde se cruzan el eje de A.R. (ascensión recta) y el de DEC /declinación) del telescopio Jerónimo Muñoz es de 27 metros, por lo que la altura total a nivel del mar es de 747.5 m. En la segunda planta se encuentra el Telescopio Jerónimo Muñoz de montura ecuatorial alemana. Se instaló en Mayo del 89 y se le dotó de una cúpula motorizada de 5 metros de diámetro. Tanto el telescopio como la cúpula fueron fabricados por la empresa IMVO, con la financiación del Banco Exterior. La óptica es la de un sistema reflector y está constituido por un espejo paraboloide cóncavo de 510 milímetros de diámetro y dos posibles configuraciones de su foco (f:5 y f:22).

³⁰Ricardo León . Obras Completas. Tomo I. “Alcalá de los Zegries”. Pg. 283. Biblioteca Nueva. Madrid 1944. Por favor, permitánnos un instante lírico.

“Lector. éste es el pueblo peregrino
que con su espada fatigó a la tierra
y abrió surco en el mar: pueblo de guerra,

exhausta y empezaba a quedarse sin pulso. Las guerras europeas que terminaron en las paces de Westfalia (1648) y Ryswick (1693), ambas adversas para nuestra patria, trajeron como consecuencia la pérdida de los Países Bajos, donde se concentraba prácticamente la totalidad de la Ingeniería Cartográfica Española, que salió del trance especialmente dañada.³¹

Por otra parte, hemos visto que el mundo era ya razonablemente conocido y se trataba mucho más de profundizar en su descripción métrica y científica que en agregar nuevas tierras a las ya descubiertas.

En instrumentación, métodos, doctrina y praxis, es la hora de la Ingeniería Cartográfica Científica, de la Geodesia de Alta Precisión en la medida de arcos de meridiano para acceder al conocimiento de la forma del Globo Terrestre, de la Geodesia matemática triangulada en distintos órdenes enlazados para la formación de Mapas Nacionales, de la Topografía Geométrica de campo con desarrollo y cálculo trigonométrico en gabinete. Todo ello demanda recursos materiales y tecnologías cada vez más avanzadas y técnicos profesionales de cada vez más alta preparación y nivel académico. Y parece inútil tratar de engañarse con las excepciones individuales de costumbre, que volvemos a calificar de heroicas, tanto en personas como en lugares. España en conjunto no estaba preparada para afrontar el reto y fue tomada de improviso y por sorpresa. Éramos los primeros, dejamos de serlo y descendimos muchos puestos en la lista. Casi hasta el fondo.

El movimiento Novator fue tal vez la más admirable entre las excepciones. Surgió tempranamente³² en Valencia, con muy importante implantación. Tam-

de casta mora y de blasón latino.

Leyó en los astros su caudal destino,

Ganó la cumbre, traspasó la sierra

Y aún de lo eterno que sus pasos cierra

Con arte militar forzó el camino.

Pueblo extremado, impetuoso y fuerte,

O batalla sin tregua y sin medida,

o se abandona a la pereza inerte.

Nunca acertó a vivir: es un suicida

Que, abrasado en las fiebres de la vida,

Para saciar su sed busca la muerte....”

Tal vez en un futuro ese pueblo peregrino vuelva a leer su destino fuera de la Tierra, navegando por el Espacio. Tan visionario como sus antepasados de los siglos XV y XVI.

³¹Tomamos estos párrafos de nuestra obra “Compendio de Historia de la Ingeniería Cartográfica”, Opus cit. pg. 219 y sig.

³²Luis Guijarro “Otra visión del Cosmos” Revista del Ministerio de Fomento nº 542 pg. 182 y sig. “A finales del siglo XVI, después de que Felipe II prohibiese estudiar en el extranjero, el

bién en Barcelona, Madrid, Sevilla y alguna otra ciudad, siempre de forma espontánea y mucho más desconfiado y clandestino³³ que apoyado o siquiera tolerado por la Administración reinante, muy poco dada a transigencias en general y extremadamente sensible respecto a ciertas cuestiones específicas, como el heliocentrismo. Lo formaron científicos e intelectuales de toda especialidad y tipo que enseguida se denominaron ilustrados, y que no buscaban contribuciones nuevas a la ciencia, ni disponían de medios para ello. Se conformaban con difundir las ideas y hallazgos de los sabios extranjeros contemporáneos, fundamentalmente franceses e ingleses, y el uso del método experimental, en un intento de no desvincularse totalmente del progreso de la Astronomía y las nuevas Ciencias Físicas, Exactas y Naturales. Se tuvo por señalado triunfo el simple y humilde hecho de que el “Analysis Geométrica” de Antonio Hugo Omerique en 1698 atrajese el interés de Newton³⁴.

Valencia fue avanzada del grupo Novator. Sus componentes y obras, sea con carácter general o solo en lo que concierne a las Ciencias Geográficas y Cartográficas, son bien conocidas y han sido mejor estudiadas por eminentes especialistas, existiendo todo un magnífico Museo Valenciano de la Ilustración que entiendo en el tema. A ellos nos remitimos, deteniéndonos si acaso para destacar algún hecho o figura estrictamente indispensable.

El movimiento Novator, iniciado y fomentado en Valencia por José Zaragoza, Tomás Vicente Tosca, Juan Bautista Corachán, el Dean de Alicante Manuel Martí, y Baltasar de Iñigo entre otros destacados promotores, fue renovado y continuado por sus discípulos, destacándose Gregorio Mayans, Vicente Almiñana, Asensio Sales, Nebot y muchos más, ya en plena época de la Ilustración. Con posterioridad produjo la figura del gran polígrafo ilustrado Antonio José Cavanilles y por lo que a la Ingeniería Cartográfica respecta culminó con uno de los mejores geodestas de la época, reconocido así por todo el mundo científico. El alicantino de Novelda Jorge Juan y Santacilia sobre el que se ha escrito ya tanto que resulta más que difícil aportar algo medianamente original. No obstante, nos atreveremos más adelante con una mínima pincelada.

Volviendo a nuestra cuestión básica, entre la Ingeniería Cartográfica del siglo XVII y la del siglo XVIII existen diferencias notables no solo de evolución sino

colapso de la Astronomía fue total. Pero a partir de aquel momento hubo una recuperación, gracias a un grupo de estudiosos que llevaban años formando parte del movimiento Novator. Se empezó a adquirir cierta conciencia y a difundirse la idea del reconocimiento del atraso científico español y de que el aislamiento ideológico había mantenido a España al margen de la nueva ciencia”. Es la otra cara de la moneda de los versos de Ricardo León.

³³En 1517, en Wittemberg Gaspar Peuer, yerno y discípulo de Melanchton dice en su “Hypotheses Astronomicae” “No expongo el sistema de Copérnico por temor a que los principiantes sean extraviados por tan absurda hipótesis”.(Gonzalo Menéndez Pidal, “Hacia una nueva imagen del mundo” pg. 8 Opus cit.). El propio Melanchton había citado las Sagradas Escrituras tachando de “imbécil” (sic) al que no entendiera que “Josué mandó parar al Sol y no a la Tierra”. La Universidad de Salamanca, en sus estatutos de 1559 estipuló (coincidiendo “de jure” con lo que muchas otras universidades practicaban “de facto”) que la Astronomía se explicaría eclécticamente “ad votum audientiae”, según Ptolomeo o según Copérnico. Los astrónomos jesuitas se mantenían disciplinadamente cautelosos y después, bastante después, en 1616 la Inquisición condenó la teoría heliocéntrica y vino lo de Galileo.

³⁴Luis Guijarro Opus cit.. Pg.190

conceptuales. La que ya se puede llamar antigua escuela, dominada por los cartógrafos holandeses, como señala el Profesor Erwin Raisz, valoraban la rapidez de publicación y la belleza del producto. Eran a lo menos tan comerciantes como científicos. La nueva escuela francesa en la Edad del Culto a la Razón está mayoritariamente formada por sosegados hombres de ciencia que no buscan más que el progreso científico, la investigación rigurosa, y, como mucho y para ellos mismos, el cuidado de su propia reputación intelectual que defienden ardorosamente.

En razón a lo expuesto, el enunciado de uno de los problemas fundamentales de la ciencia del momento es muy simple. Se trata de acceder con mayor precisión al conocimiento de la figura de la Tierra, desechándose ya como simple aproximación grosera el concepto de su perfecta esfericidad. Antes existía el firme convencimiento de que una figura de tipo elipsoidal describía mejor la realidad. El profesor Snellius, ya mencionado,³⁵ había desarrollado y aplicado hacia 1617, la doctrina adecuada con el método de triangulación. La mecánica y la óptica había avanzado posteriormente lo suficiente como para proporcionar los instrumentos de precisión necesarios³⁶. Ya solo quedaba medir varios arcos de meridiano lo más cerca posible del Polo, operar igualmente en el Ecuador, compararlos, y calcular los radios de curvatura locales.

En un clima de encendido interés por parte de la opinión pública europea y de fuertes discusiones entre científicos, se encontraba la fracción newtoniana que preconizaba un elipsoide oblató con achatamiento según el eje polar, y la cartesiana, defensora de un elipsoide prolato, con alargamiento según el mismo eje. La Academia de Ciencias de París en 1735 terció en la controversia y para zanjarla aprobó y financió sendos proyectos, uno presentado por Louis Godin³⁷

³⁵Willebrord Snel van Royen, llamado Snellius (1580 – 1626). Profesor en la Universidad de Leyden fue el primero en proyectar, observar, calcular, ajustar errores, y orientar astronómicamente una cadena de triangulación con base de partida y llegada adecuada a lo largo de un arco de meridiano, uniendo en 1615 Alkmaar y Bergen en los Países Bajos. Con el material rudimentario de observación y la penosa metodología de cálculo asequibles en la época, su trabajo constituyó una verdadera proeza científica, con el excelente resultado de asignar el valor de 57.033 toesas equivalentes a 111.157 metros para el arco de un grado. Un siglo después Maupertuis en París proponía 57.183 toesas, con la discrepancia de Boscovich que consideraba más aproximado el valor de 57.074, más acorde con Snellius, deducida la corrección por diferencia de georreferenciación.

³⁶El perfeccionamiento de la plancheta con mejor mecánica y óptica, la aparición de los círculos repetidores (Mayer - 1750), los tornillos micrométricos para presión, coincidencia, colimación y lectura en nonius (Ramsden – 1755), y sobre todo, los primeros teodolitos operativos aparecidos en Inglaterra con cuatro tornillos nivelantes (Troughton - 1760) ofrecen las prestaciones suficientes para atender cualquier proyecto geodésico y topográfico de precisión.

³⁷Louis Godin (1704-1760). Astrónomo y matemático francés, académico desde 1725. Discípulo de Joseph Nicolás Delisle. Jefe de la expedición al Perú, permaneció en aquellas tierras durante muchos años. Catedrático de Matemáticas en la Universidad de San Carlos de Lima. Intervino activamente en la reconstrucción de Lima y el Callao tras el terremoto de 1746. Director de la Escuela de guardias marinas de Cádiz donde murió. Escribió sus “Memorias”, “11 volúmenes de Historia de la Academia de Ciencias de París desde 1680 a 1699” y “Apéndice a las tablas Astronómicas de la Hire”. Completaba la expedición por la parte francesa los académicos Charles La Condamine, militar, químico y matemático y Pierre Bouguer, astrónomo, hidrógrafo y matemático. Además, los españoles Jorge Juan Santacilia y Antonio de Ulloa y de la Torre-Guiral, marinos de guerra.

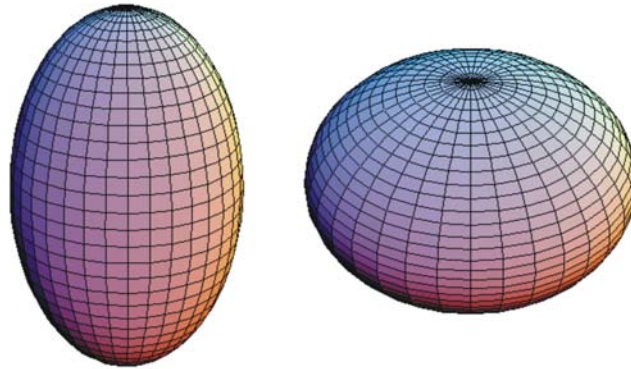


Figura 3.16: Izqda. Elipsoide prolato, francés y cartesiano. Dcha. Elipsoide oblato, inglés y newtoniano.

y otro por Pierre Louis Moreau de Maupertuis³⁸, consistentes en medir respectivamente un arco de meridiano en Ecuador, alrededores de Quito, virreinato del Perú, y otro en Laponia, golfo de Böttnia. Si el arco ecuatorial rectificado resultaba de mayor longitud que el polar, el esferoide terrestre podía explicarse como un esferoide prolato y cartesiano. En caso contrario, sería oblato y newtoniano. Fig. 3.16³⁹. En ambos equipos se encuadraron los más afamados científicos franceses del momento.

No es necesario entrar en detalles acerca de la doble expedición sobre la que se ha escrito, analizado y estudiado hasta la saciedad.⁴⁰ Sin embargo, es interesante, aplicando algoritmos y conocimientos del siglo XXI, comparar los resultados obtenidos por la expedición ecuatorial, que adoptó como suyos los del trabajo específico de Jorge Juan y Antonio de Ulloa, y los de la boreal.

³⁸Pierre Louis Moreau de Maupertuis (1698 – 1759). Matemático, físico, filósofo. Discípulo de Bernouilli en Basilea. Primer académico francés defensor de las tesis newtonianas. Propone el Principio o Ley Física de la Mínima Acción. Autor de “Sur la figure de la Terre” (1738), “Éléments de Géographie” (1742), “Astronomie Nautique” (1746) ... y muchas más publicaciones, incluyendo una incursión en la Biología y la herencia genética titulada “Venus Physique” con pintorescas connotaciones eróticas. Aclamado y admirado, aceptó el ofrecimiento de Federico el Grande para fundar y presidir la Academia de Ciencias de Berlín (1746). La Guerra de los siete años entre Prusia y Francia le llevó a una situación difícilísima que no pudo sortear. Se retiró en 1757 al sur de Francia, pero se vió obligado a volver a Basel (Prusia), donde falleció entre la indiferencia general. Completaban la expedición los académicos Alexis Claude de Clairaut, físico y matemático, Charles Etienne Louis Camus, matemático, arquitecto y mecánico, y Pierre Charles Le Monnier, astrónomo, geodesta y matemático.

³⁹Jean Bernouilli: “Las ideologías han penetrado hasta tal punto en el debate científico que ni los propios experimentos pueden aportar pruebas concluyentes.... Si el observador está inclinado a encontrar la Tierra achatada o elongada, así la hallará.”

⁴⁰En lo que sigue nos basaremos en el trabajo “Jorge Juan y la Geodesia de la Ilustración. Visión técnica e histórica desde el siglo XXI”, por Manuel Chueca Pazos y María Jesús Jiménez Martínez. (Mayo/2010).

3.3. Números del siglo XXI sobre el trabajo de Jorge Juan en Perú en el siglo XVIII. Una página valenciana difícil de superar.

Refrescando ideas, se trataba de medir sobre el meridiano de $78^{\circ}45'$ de Longitud Oeste de Greenwich un arco comprendido entre el Ecuador y algo más de los 3° de Latitud Sur, desde el entorno de la ciudad de Quito hasta la de Cuenca, por medio de una cadena de 28 triángulos geodésicos de unos 25 km. de lado promedio, muy bien conformados. Los vértices se eligieron a lo largo de la cordillera de los Andes, a unos 3.500 metros de altura promedio (Cumbre del Pichincha 4.817 metros). Se emplearon nueve años de trabajo intenso, en terribles condiciones de observación, debiendo arrastrar toda clase de problemas y penalidades. En cuanto a Laponia se trabajó también en condiciones extremas, pero solamente durante algo menos de un año y mediante una cadena de 8 triángulos de deficiente configuración y lado promedio como el anterior. El arco resultante es de menos de 1° (aproximadamente $57'$) entre la ciudad de Kittilä, hoy Kittilä, latitud $67^{\circ}42'0''N$ y la desembocadura del río Tornea, ciudad del mismo nombre, latitud $65^{\circ}50'48''N$. Fig. 3.17.

A efectos de contrastar la calidad del trabajo de ambas Comisiones, nos referiremos al elipsoide World Geodetic System 1984 (WGS84), referencia contemporánea del sistema GPS⁴¹. Sobre él, la respuesta a la pregunta planteada por la Ciencia de la Ilustración en el siglo XVIII, tiene una respuesta evidente. Es un elipsoide oblató. Y en función de sus parámetros fundamentales, utilizando el algoritmo de integrales definidas elípticas incompletas de segunda especie⁴², y siendo $\varphi = \text{colatitud}$, $\alpha = \arcsin 0,08182 = 4^{\circ}41'35''$ y entrando en las tablas de Puig Adam, tomando como primera aproximación $\alpha = 5^{\circ}$, se sigue:

El arco meridiano l_{Ec} de latitud 0° a 3° rectificado, valdrá en el elipsoide WGS 84

$$l_{Ec} = a \left[\int_0^{90} \sqrt{1 - \sin^2 5^{\circ} \sin^2 \varphi} \cdot d\varphi - \int_0^{87} \sqrt{1 - \sin^2 5^{\circ} \sin^2 \varphi} \cdot d\varphi \right]$$

$$l_{Ec} = a [E(5^{\circ}, 90^{\circ}) - E(5^{\circ}, 87^{\circ})]$$

$$l_{Ec} = a (1,5678 - 1,5157) = 6,378,137 \cdot 0,0521 = 332,301 \text{ metros}$$

y la longitud del arco de 1° rectificado se acepta como

$$l_{Ec,1^{\circ}} = 110,767 \text{ m.}$$

En toesas de la época, con 1 toesa $\langle \rangle$ 1,95 m.

$$l_{Ec,1^{\circ}} = 56.804 \text{ toesas}$$

El resultado que se obtiene con $\alpha = \arcsin 0,08182 = 4^{\circ}41'35''$, por medio de los programas "Matemática" y "Matlab" y por desarrollo en serie de potencias⁴³

⁴¹Ibidem. Pg 47. Características completas. Sus parámetros fundamentales son:

Semieje mayor = a = 6.378.137 metros

Semieje menor = b = 6.356.752 metros

Excentricidad = k = 0,08182

Aplanamiento = A = $\frac{(a-b)}{a} = \frac{1}{298,253}$

⁴²Nos referimos a teoría y tablas de Integrales Elípticas de Pedro Puig Adam "Cálculo Integral" pg. 66 y sig. EEI.Industriales. Madrid 1968.

⁴³L.G.Asenjo y D.Hernández "Geodesia". Universidad Politécnica de Valencia. Valencia

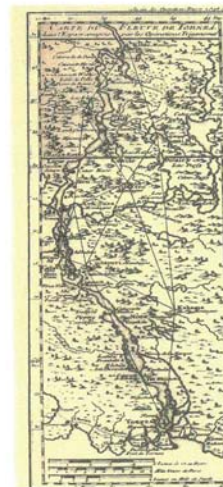
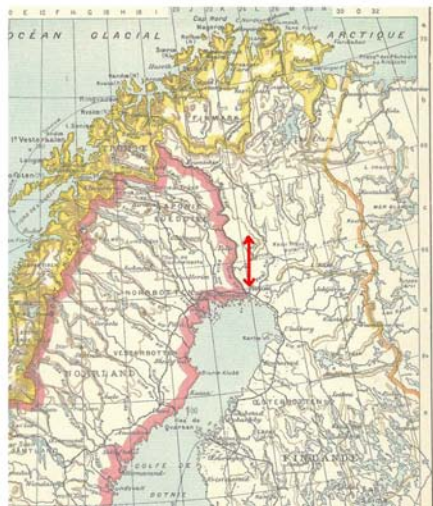
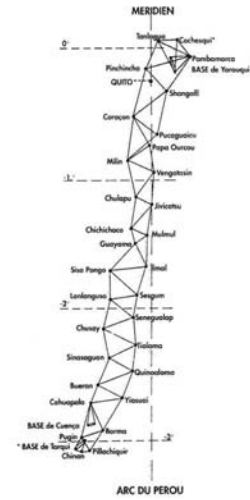


Figura 3.17: Arcos de meridiano y cadenas de triangulación en Perú (arriba) y Lapponia (abajo). En rojo se representan los arcos medidos.

resulta el mismo, con diferencias despreciables.

A mayor abundamiento y en otro orden de ideas, el radio de curvatura de la elipse meridiana vale, en función del semieje mayor, la excentricidad y la latitud ϕ .

$$\rho = \frac{a(1-k^2)}{(1-k^2 \sin^2 \phi)^{\frac{3}{2}}}$$

con ϕ = latitud, siendo lícito aplicar para arcos iguales o menores de tres grados

$$\rho d\phi = dl = l_{Ec.}$$

y particularizando con $1^\circ \ll 0,017453$ radianes, y $\phi = 0$

$$l_{Ec,1^\circ} = 6.378.137 (1 - 0,08182^2) \cdot 0,017453 = 110.572 \text{ m.}$$

$$l_{Ec,1^\circ} = 56.704 \text{ toesas}$$

Que ratifica y comprueba el cálculo anterior. La diferencia entre ambos cálculos $110.767 - 110.572 = 195$ m. aproximada en menos de $2 \cdot 10^{-3}$ ofrece precisión suficiente según justificamos más adelante para el fin propuesto.

Adoptamos la media de los dos valores: $l_{Ec,1^\circ} = 110.670$ metros $\ll 56.754$ toesas.

Y teniendo en cuenta que el resultado propuesto por Jorge Juan y aceptado finalmente por la Comisión se fijó en

$$56.767,8 \text{ toesas} \ll 110.697 \text{ metros}$$

el error absoluto imputable al valor de Jorge Juan resulta ser de $110.697 - 110.670 = 27$ metros y el relativo de

$$Error_{J.Juan} = \frac{110.697 - 110.670}{110.670} = \frac{27}{110.670} = 2,4 \cdot 10^{-4}$$

Solo puede calificarse, con el conjunto de la Comisión, de excepcionalmente bueno, teniendo en cuenta las posibilidades técnicas de la época.

Acerca de la honradez profesional de Jorge Juan basta con resaltar que el error absoluto resulta casi la mitad del que él mismo esperaba (22,63 toesas \ll 44,1 metros). Un trabajo de excelencia, difícil de superar incluso con instrumentación mucho más moderna.

Por lo que respecta al trabajo de la Comisión de Laponia, y operando exactamente igual que en el caso anterior, se obtiene sucesivamente:

Arco meridiano $l_{Lap.}$ de latitud 63° a 66° rectificado sobre el elipsoide WGS 84:

$$l_{Lap.} = a \left[\int_0^{27} \sqrt{1 - \sin^2 5^\circ \sin^2 \varphi} \cdot d\varphi - \int_0^{24} \sqrt{1 - \sin^2 5^\circ \sin^2 \varphi} \cdot d\varphi \right] =$$

$$= a[E(5^\circ, 27^\circ) - E(5^\circ, 24^\circ)]$$

$$l_{Lap.} = a(0,4711 - 0,4188) = 6,378,137 \cdot 0,0523 = 333,577 \text{ metros}$$

y la longitud del arco de 1° rectificado se acepta como

$$l_{Lap,1^\circ} = 111,192 \text{ m.}$$

En toesas de la época, con 1 toesa \ll 1,95 m.

$$l_{Lap,1^\circ} = 57,022 \text{ toesas}$$

Y también, con $\phi = 66^\circ$ N, se tiene sucesivamente.

1990. Se sabe que

$$I = a \left[\left(1 - \frac{1}{4}k^2 - \frac{3}{64}k^4 - \frac{5}{256}k^6 - \dots \right) \varphi - \left(\frac{3}{8}k^2 + \frac{3}{32}k^4 + \frac{45}{1024}k^6 + \dots \right) \sin 2\varphi + \right. \\ \left. + \left(\frac{15}{256}k^4 + \frac{45}{1024}k^6 + \dots \right) \sin 4\varphi - \left(\frac{35}{3072}k^6 + \dots \right) \sin 6\varphi + \dots \right]$$

$$\rho d\phi = dl = l_{Lap}.$$

y particularizando con $1^\circ \ll 0,017453$ radianes, y $\text{sen } 66^\circ = 0,913545$

$$l_{Lap,1^\circ} = \frac{6,378,137(1-0,08182^2)}{(1-0,08182^2 \cdot 0,913545^2)^{\frac{3}{2}}} 0,017453 = 111,505 \text{ m.}$$

$$l_{Lap,1^\circ} = 57,182 \text{ toesas}$$

Que ratifica y comprueba el cálculo anterior. La diferencia entre ambos cálculos $111.192 - 111.505 = -313$ m. aproximada en menos de $3 \cdot 10^{-3}$ ofrece precisión suficiente, aunque en este caso en el límite⁴⁴ para el fin propuesto. Adoptamos la media de los dos valores:

$$l_{Lap,1^\circ} = 111.348 \text{ metros} \ll 57.102 \text{ toesas.}$$

Y podemos expresar la diferencia calculada que tomamos como exacta y de comparación entre el arco de meridiano de un grado a la latitud de 66° y el de latitud 0° ecuatorial según

$$l_{Lap,1^\circ} - l_{Ec,1^\circ} = 111,348 - 110,670 = 678 \text{ metros}$$

Cifra fundamental, que exige un trabajo en cálculo de hipótesis básicas y de resultados a ambas Comisiones de precisión relativa mínima conjunta de $6 \cdot 10^{-3}$, equivalente a $3 \cdot 10^{-3}$ en cada una⁴⁵, condición que cifra y justifica las afirmaciones anteriores al respecto. Recordemos que el trabajo de Jorge Juan alcanzó la precisión de $2,4 \cdot 10^{-4}$, 25 veces inferior a la tolerancia.

Los resultados observacionales adoptados por Maupertuis, a los que antes se hizo referencia son:

Longitud del arco de un grado en Laponia, a partir de la medición de otro de aproximadamente la misma graduación.

$$l_{Lap,1^\circ} = 112.004 \text{ metros} \ll 57.438 \text{ toesas.}$$

Maupertuis se desvía 656 m. del valor 111.348 m. que hemos adoptado como exacto. Afortunadamente para el éxito de la misión en sentido positivo. Porque en buena teoría de errores aparentes accidentales podría haber obtenido en forma equiprobable la misma desviación, pero en sentido contrario. Así, hubiera propuesto una longitud rectificada del arco de 1° de $111.348 - 656 = 110.692$ metros < 110.697 m., valor aceptado por la Comisión como exacto en el Ecuador.

La figura de la tierra de acuerdo con los números anteriores hubiera sido tal vez explicada como esférica u elipsoidica ligeramente prolata.

Efectivamente, todo se debe a que el valor obtenido por Maupertuis y adoptado por la Comisión, se ve afectado aisladamente de un error absoluto de $112.004 - 111.348 = 656$ metros y relativo de

$$Error_{p.Maupertuis} = \frac{112,004 - 111,348}{111,348} = \frac{656}{111,348} = 6 \cdot 10^{-3} (p.e)$$

en el límite (678 metros en error absoluto y $6 \cdot 10^{-3}$ en relativo, según se dedujo) del rechazo para el conjunto del trabajo. El doble de la tolerancia de cada Comisión. Algunos, autores lo han sugerido, si bien en general con cierto sigilo. “Si en 1737 Maupertuis estaba convencido de haber probado las tesis de

⁴⁴Ibidem. Se demuestra en detalle.

⁴⁵Es evidente que un error relativo en el entorno de $-3 \cdot 10^{-3}$ en Laponia simultáneo con otro de $+3 \cdot 10^{-3}$ en Perú dan lugar a arcos iguales y por tanto, una esfera. La combinación de errores superiores puede generar cualquier tipo de elipsoide, oblató o prolato, sin poder de afirmación alguno.

Newton, diez años más tarde una espesa cortina de humo impedía una conclusión definitiva...”⁴⁶

Es claro que Maupertuis, que según sus propios números había estimado su error máximo, con una fiabilidad al 100 %, que ya es arriesgar, en torno a 54,5 toesas <> 106,3 metros, se pasó de optimista casi en un 600 %. Importante diferencia con Jorge Juan. Por consiguiente, no es muy aventurado mantener que el Proyecto Geodésico conjunto pudo haberse visto cerca del fracaso, salvándose esencialmente por la brillante eficacia y profesionalidad de la expedición a Perú, en la que es de justicia destacar la labor de excelencia ejecutada por los jóvenes veinteañeros Jorge Juan y Antonio de Ulloa. Que volvieron a casa no tan jóvenes, rondando la treintena.

Es posible que pudieran afinarse más los números anteriores. Pero para ello habría que tener en cuenta la corrección debida a medir en el geoide y calcular en el elipsoide. Y es más que probable que, en el estado actual del conocimiento, imputar la influencia de las ondulaciones del geoide introduciría una incertidumbre mayor que la aceptada implícitamente en los cálculos que anteceden.

Finalmente, no quisiéramos dejar la impresión de que el trabajo de Maupertuis y su equipo fuera deficiente. Todos ellos se encontraban entre los mejores científicos y profesionales del mundo y, con los medios entonces a su alcance, realizaron un trabajo concienzudo y correcto. Lo que sucede es que la calidad del trabajo de Jorge Juan y Antonio de Ulloa fue, muy superior.

⁴⁶Lafuente y Delgado “La Geometrización de la Tierra” Opus cit. pg. 272.