

FREI MARTÍN SARMIENTO E A DETERMINACIÓN DA LONXITUDE XEOGRÁFICA EN ALTA MAR

UXÍO PÉREZ RODRÍGUEZ y MARÍA ÁLVAREZ LIRES
Facultade de Ciencias da Educación e do Deporte – Universidade de Vigo

JOSÉ FRANCISCO SERRALLÉ MARZOA
Consellería de Educación e Ordenación Universitaria – Xunta de Galicia

Resumo

Neste artigo recóllense as reflexións do ilustrado galego Frei Martín Sarmiento acerca da determinación da lonxitude xeográfica en alta mar, un problema práctico de enorme interese no seu tempo. Realízase unha síntese acerca da relevancia do problema e das solucións que se barallaban por entón, intercalando nesta digresión os pensamentos sarmentianos ao respecto. Tamén se detallan diversas achegas que —sen acerto— realizou este frade beneditino para tratar de solucionar o problema.

Abstract

In this paper we study the reflexions of the Galician enlightened Friar Martín Sarmiento on the determination of longitude at the high seas, a practical problem of great interest at his time, and his unsuccessful attempts to resolve the problem.

Verbas chave: Determinación da lonxitude, Astronomía, Ilustración, España, Siglo XVIII, Frei Martín Sarmiento.

Keywords: Determination of Longitude, Astronomy, Enlightenment, Spain, 18th Century, Fray Martín Sarmiento.

Recibido el 10 de julio de 2009 – Aceptado el 6 de febrero de 2010

1. INTRODUCCIÓN

Frei Martín Sarmiento (San Juan de Cerdedo¹, Pontevedra, 1695 – Madrid, 1772), representante paradigmático da Ilustración española [ALLEGUE, 1993; ÁLVAREZ LIRES, 2000], tratou con moito detemento o problema da determinación da lonxitude xeográfica en alta mar². Este problema consistía sinxelamente en dar cun método que permitise saber a alguén que navega lonxe de

terra a lonxitude xeográfica na que se encontra. Como se desenvolverá, este enigma era de enorme interese práctico. Sarmiento demostrou coñecer ben o estado do cuestión na súa época, chegando mesmo a propoñer diversas solucións, aínda que sen acerto.

2. A RELEVANCIA DO PROBLEMA E AS SOLUCIÓNS QUE SE BARALLABAN

No século XVIII determinar a latitude dun lugar de observación era relativamente sinxelo, dado que se podían empregar diversas referencias naturais para tal fin [SELLÉS, 2000, pp. 51-55]. Averiguar a lonxitude xeográfica era un problema moito máis complexo³ e non se coñecía unha solución axeitada para determinarlá. Podía averiguarse por exemplo mediante a observación simultánea de eclipses lunares, como se detallará máis adiante, pero non existía un método co que poder determinala en calquera momento e coas limitacións dos instrumentos de observación dun barco. Na práctica da navegación empregábanse diversos métodos para determinar aproximadamente a posición dos navíos nas cartas náuticas, aínda que eran moi pouco fiables [SELLÉS, 2000, pp. 37-91]. Un barco podía estar a centos de millas do lugar no que se supoñía que estaba, o que era un grande inconveniente, especialmente pola noite. O desastroso naufraxio múltiple do almirante Shovell nas illas Sorlingas en 1707 intensificou a presión para que se dese resposta a este interrogante, e ofrecéronse cuantiosos premios para resolver o misterio, sendo o primeiro que se ofertou o do monarca español Felipe II. Seguiríanlle outros premios e financiación semellantes en Holanda, Francia e Inglaterra. Para Sarmiento isto constituía unha boa proba da importancia práctica que encerraba este problema⁴, e pensaba que as solucións propostas, para ser realmente útiles, non poderían requirir a realización de cálculos excesivamente complexos, dado que moitos pilotos non tiñan unha boa formación⁵. O enigma parecía tan insoluble que Frei Martín o situaba como a *quimera* da cosmografía, o gran problema desta disciplina que ninguén era capaz de resolver⁶.

O problema de determinar a lonxitude foi abordado por moitas das mellores mentes do pasado [ANDREWES, 1993; SOBEL, 1998]. Porén, atraídas polos cuantiosos premios, tamén tentaron resolverlo xentes sen a formación necesaria para facelo, propoñendo solucións erróneas, imposibles de levar á práctica ou sinxelamente absurdas. Recibiron duras críticas de Frei Martín⁷, quen tivo ocasión de desbaratar unha destas solucións absurdas⁸. O frade beneditino estaba ao tanto das propostas que se ían realizando no seu tempo para solucionar o problema⁹, e isto a pesar de que os novos métodos para a determinación da lonxitude non aparecerían impresos en España ata 1787 [SELLÉS, 2000, p. 137], 25 anos despois de que o frade realizase as reflexións aquí recollidas. Tamén sabía dos avances que se foran levando a cabo no pasado. Deixou escritas as súas opinións sobre estes métodos, polo que a continuación se comentarán as principais solucións que se propuxeran ata o seu tempo, intercalándoas coas súas reflexións acerca delas.

2.1. O método dos reloxos

Frei Martín afirmaba que «casi todos los Methodos escritos, que ay para saber la Longitud; todos conspiran à averiguar la diferencia de horas, ò de tiempo, que ay, entre Cadiz v.g. y el lugar en donde el Navio està, sin saber en donde. Es evidente, que averiguada de cierto essa diferencia; de cierto està averiguada la Longitud»¹⁰. Efectivamente, o método das diferenzas horarias era no que se baseaban a maior parte das solucións propostas para determinar a lonxitude en alta mar. A diferenza horaria entre dous lugares é proporcional á lonxitude xeográfica que os separa, correspondendo unha hora de diferenza a 15° de lonxitude. Se o mediodía solar se produce con dúas horas de retraso nunha vila con respecto a outra, estas están separadas por 30°. Por tanto, para saber a diferenza en lonxitude entre dous lugares tan só hai que coñecer a diferenza horaria entre eles. Con todo, isto non era factible en tempos de Sarmiento, cando menos para un barco en alta mar. Podía saberse a hora que era no lugar no que estaba o barco, pero non había xeito de comunicarse cun lugar en terra para preguntar que hora do día era alí. A solución evidente era levar no barco un reloxo posto en hora antes de partir. A lonxitude xeográfica dos portos era coñecida cunha precisión razoable, polo que se o reloxo non atrasara nin adiantara disporíase en todo momento da hora no porto de partida. Se nun momento da viaxe se quixera saber a lonxitude habería que observar o Sol para coñecer a hora no lugar no que se situaba o navío, calcular a diferenza horaria e transformala a diferenza en lonxitude [SELLÉS, 2000, pp. 164-176]. Os detalles concretos dos cálculos implicados tiñan certa complexidade. En 1765, na mesma época na que Frei Martín reflexionaba sobre o método dos cronómetros mariños, Jorge Juan escribía sobre este procedemento as seguintes verbas que dan boa conta do estado da navegación astronómica na España de entón:

¡Con quanto dolor debemos decir, que apenas se encontrarán en nuestro Reyno doce sugetos que sepan executar!o!¹¹.

En calquera caso, en tempos de Sarmiento o problema teórico estaba resolto mediante o método dos cronómetros mariños. Pero, na práctica, os reloxos —tanto os de péndulo coma os de engrenaxes— non tiñan a suficiente precisión para ser empregados con este fin, véndose afectados a bordo por numerosas circunstancias [SELLÉS, 2000, pp. 141-153]. En 1714 Isaac Newton elaborou, a petición dunha comisión parlamentaria, un informe sobre os diferentes métodos para determinar a lonxitude. Concluíu que eran correctos en teoría, pero de difícil execución¹². En concreto, sobre o método dos reloxos sostíña:

Uno [de los métodos] consiste en un reloj que marque la hora con exactitud. Pero a causa de los movimientos del navío, la variación entre calor y frío, o entre humedad y sequedad, así como la diferencia de gravedad en las distintas latitudes, aún no se ha construido semejante aparato.

A opinión de Frei Martín ao respecto era idéntica:

La inquietud del Mar, y los movimientos impetuosos, y disparatados de los Navios. El Calor, y frio, y la humedad, y sequedad de los diferentes Climas. Lo salitroso, y corrosivo de la Atmosfera Marina. Todo conspirará, a que ese *Reloxo*, dentro de poco tiempo, sea inutil, ò que ocasione muchos errores. He visto, en *Asturias*, rejas de Hierro, reducidas à Polvo, con el solo vapor del Aire Maritimo, que les daba muy de cerca. Estas y otras razones, yà se hallan en los Libros, contra los Reloxes artificiales¹³.

Porén, co tempo conseguiu-se fabricar un reloxo que tiña a suficiente precisión para determinar a lonxitude. O seu creador foi o artesán inglés John Harrison (1693-1776), quen tras múltiples tentativas conseguiu que o *Board of Longitude*, a institución inglesa que ofertaba un cuantioso premio para quen solucionara o problema, lle concedese o galardón. Tras realizar varias viaxes de proba, no verán de 1764 quedara demostrado que o H-4 permitía medir o tempo con precisión suficiente para aceptar como solucionado o problema da determinación da lonxitude. Con todo, Harrison tería que agardar a xuño de 1773 para percibir a práctica totalidade do premio estipulado.

2.2. Métodos que empregaban a observación de fenómenos astronómicos

Como sabía Sarmiento¹⁴, era posible coñecer a diferenza en lonxitude entre dous lugares observando fenómenos coma as eclipses lunares. Estas ocultacións poden verse de xeito simultáneo en todas as ubicacións nas que a Lúa se sitúe por enriba do horizonte no intre de producirse. Por exemplo, supóñase que nun lugar se pode presenciar un evento deste tipo ás 12 da noite, e noutro ás 5 da madrugada. Dado que o avistamento é simultáneo, a diferenza horaria entre ambos sitios é de 5 horas, que corresponden a $5 \cdot 15^\circ = 75^\circ$ de separación en lonxitude.

Era posible empregar este método para determinar as lonxitudes xeográficas de lugares en terra, e con este fin foi empregado. Aínda así, un barco en alta mar non podía esperar á ocorrencia dunha eclipse para coñecer a súa posición (en promedio só se producen 15 ocultacións parciais ou totais deste tipo cada ano¹⁵). Por tanto, esta non era unha solución práctica para o problema da determinación da lonxitude en alta mar.

En todo caso, a idea básica do método podía ser aproveitada, empregando fenómenos astronómicos que se puidesen observar simultaneamente en varios lugares pero que non fosen tan pouco frecuentes coma as eclipses. Ao longo da historia se propuxeron diferentes eventos que podían ser utilizados con este fin, sendo algúns enumerados por Frei Martín: «Eclipses de Sol, de los Satelites de Jupiter, por donde caminò Galileo. De las Manchas del Sol, y de la Luna, y aun por el Sitio de sus Cuernos»¹⁶. En tempos de Sarmiento o máis viable deles se baseaba na posición da Lúa¹⁷, pero para poder aplicalo era necesario coñecer con moita precisión os seus futuros movementos, o que non era aínda posible. Os outros métodos tiñan a mesma limitación, non habendo táboas coas posicións futuras dos astros relevantes suficientemente exactas, tanto polo descoñecemento das ecuacións

correctas que describían os seus movementos coma por outras complicacións das que tiña perfecto coñecemento o frade beneditino¹⁸.

Así, para Sarmiento estes non eran métodos adecuados para determinar a lonxitude. A súa intuición aquí non foi de todo acertada, dado que un tempo despois as táboas lunares xa serían utilizables con fin desexado [GONZÁLEZ, 1992, p. 146]. Por outra banda, a pesar de que co reloxo de Harrison o problema quedaría resolto, os cronómetros tardaron tempo en estar dispoñibles e tiñan prezos moi elevados —moito maiores cós das táboas lunares—, o que motivou que a finais do século XVIII ditas táboas fosen bastante empregadas.

2.3. As declinacións da Pedra Imán

Outro dos métodos existentes para determinar a lonxitude era o das declinacións da «Pedra Imán» (magnetita). Como apuntaba o frade beneditino, este mineral posuía unha importante característica: «la mas util propiedad del *Iman*, [...] es la *calyboclisis*, ò su Misteriosa conversion a los *Polos*»¹⁹. Sinalaba que se cría que os chineses, que tiñan compases, chegaran ao Cabo de Boa Esperanza. Nestas viaxes poderían ter transmitido o seu coñecemento acerca desta invención a «Yndios, Persas, Arabes, Egypcios, &. y que estos la comunicasen à Mahometanos, Griegos, y Europeos»²⁰.

Sarmiento era plenamente consciente de que a agulla do compás non sinalaba —en xeral— cara ao Norte xeográfico, senón ao magnético: «la [propiedade] de Declinar al Noroeste, ò Nordeste, vasterdeando del Norte, se podrá llamar *Declinatrix*»²¹. Nesta propiedade baséase a definición de *declinación magnética* (), que é a diferenza entre o Norte xeográfico e o indicado por un compás. A declinación non é a mesma en todas partes, senón que varía sensiblemente dun lugar a outro. Esta inconstancia era a base doutro dos métodos para determinar a lonxitude en alta mar do que Frei Martín tiña perfecto coñecemento²². O norte xeográfico podía localizarse observando o Sol ou outras estrelas, e o compás proporcionaba o norte magnético, polo que coa diferenza entre estes dous datos era posible saber o valor da declinación nese punto. Así, se nun navío se dispuxese de mapas que tabulasen as declinacións en cada sitio se podería saber a súa ubicación a partir da declinación obtida por observación e a latitude do lugar, sempre que se soubese a zona aproximada onde estaba o barco. Edmond Halley (1656-1742) levou a cabo a tarefa de elaborar este mapa de declinacións, rematando este traballo nos primeiros anos do século XVIII.

Porén, o problema distaba de estar resolto, a pesar das aparencias. Co tempo, a declinación magnética demostrou ser cambiante, variando a unha velocidade que pode chegar aos 25° por século. Todo isto motivou o seguinte dictame de Sarmiento:

La *Piedra Iman*, ès mas mudable, que la *Fortuna* [...] vasterdea, y declina, del Norte, con una inconstancia, que jamas se podrá reducir à cuenta, y razon [...]. Aun ay màs. La *Aguja*, que sin mudarse de un mismo Sitio, declina tanto; pasado algun tiempo, declina mas, ò menos. Què se podrá esperar de esta loca inconstancia, para la Longitud?

No dudo, que ay *muchas tablas*, de la *Direccion*, *Declinacion*, è *Inclinacion* de la *Aguja Magnetica*. [...] Y quando màs, serian *Pan para oy*; y *Hambre para mañana*; pues, como se mudan los tiempos, mudansè las voluntades de la *Aguja Magnetica*. Son tantos, tan varios, tan inconstantes, y digamoslo asi, tan alocados, esos *Caprichos*, que siempre serà perder tiempo, quererlos reducir à un *Sixtema constante*, que pueda servir de algo, para saber la *Longitud*²³.

Sobre as táboas de Halley, valoraba en gran medida o seu esforzo²⁴, pero sostíña, con bo criterio, que non pensaba «tomar otro partido, que el de suponer, con *evidencia*, que para el asunto de la *Longitud*, todas esas *tablas* [de declinacións], son *Papeles mojados*; pues en todas ellas, no se puede atar un grano de *constancia*, y de *firmeza*»²⁵.

3. AS ACHEGAS DE SARMIENTO

O frade beneditino realizou diversas achegas para tentar solucionar o problema da lonxitude [ALVAREZ LIRES, 2000; REGUERA, 2006; PÉREZ RODRÍGUEZ, 2009]. Proclamaba que «Entre estos ultimos [que tentaron atopar as lonxitudes], quise tambien yo meter la Pluma, como se vè en los *60 Pliegos* que dexo escritos *sobre la Longitud*»²⁶, non para solucionalo nin «para aspirar à Premios. No para captar condescendencias de los que no lo entienden. No para publicar, è *imprimir* estos *Apuntamentos*. Y finalmente, ni tampoco para cansar Academias con consultas»²⁷, senón para aprender. Era consciente de que probablemente os seus pensamentos sobre o particular non serían ben recibidos polos do gremio de mariñeiros²⁸, pero non por iso consideraba que non puidese abordar o problema, aínda que non fose quen de resolvelo²⁹. E, a pesar de non ter práctica na mar nin estudos formais sobre o particular³⁰, a súa irrefreable curiosidade empurrabao a adentrarse no problema. Ademais, enfrontarse a esta quimera da cosmografía era unha boa maneira de aprender sobre o tema, aínda que non se acadase o éxito no intento. «El tiempo que se diere à ese estudio» —afirmaba— «no siempre serà *perdido*»³¹. Con todo, Frei Martín non adoitaba ter ocasión de observar o ceo [PÉREZ RODRÍGUEZ, 2009], e os seus coñecementos sobre algúns aspectos dos movementos celestes, obtidos fundamentalmente grazas ás súas numerosas lecturas, eran deficientes. Por outra banda, aínda que tiña unha boa formación en diversos ámbitos das matemáticas [PÉREZ RODRÍGUEZ, ÁLVAREZ LIRES, PORTA, 2006], a trigonometría esférica non era un deles [PÉREZ RODRÍGUEZ, 2009]. Todo isto lle levaría a cometer diversos erros nos seus métodos que invalidarían as súas achegas.

3.1. O método mecánico: os reloxos robustos

Na súa digresión sobre a determinación da lonxitude Sarmiento afirmaba que os reloxos (*naturais*, coma o pulso e o movemento das estrelas, e *artificiais*, como os de

péndulo e os de engraxes) eran o mellor método para solucionar o problema, aínda que tiña clara preferencia polos métodos naturais:

Voy à los *Reloxes*; y digo, esos, ò *Artificiales*, ò *Naturales*, son los medios mas oportunos, para saber la *Longitud*, en *Tierra*, ò en *Mar*³².

el modo de averiguarla [a lonxitude] por el *tiempo*, no podia ser mejor, si hubiese *Reloxo artificial*, que no estuviere expuesto a muchos defectos³³.

Era plenamente consciente de que cun reloxo que non atrasase nin adiantase era posible determinar con sinxeleza a lonxitude, tanto en terra como en alta mar. Opinaba que «Todo *relox* de ruedas, ò *Automato*, se hace inutil, ò defectuoso, à la corta, ò à la larga. A no ser asi, no avia cosa mas facil, pronta y manual, para saber la *Longitud*, en el *Mar*, que un buen *Relox Automato*, ò de *Ruedas*»³⁴. Porén, estes reloxo eran demasiado sensibles á corrosión, as variacións de temperatura... Consideraba que unha solución parcial a este problema sería construír un «autómato» que fose moi robusto e non se vise afectado en tamaña medida por estas circunstancias:

Y soy de dictamen, que porque en tierra [un reloxo autómato], no tendrà los gavarros, à los que en el *Mar* està expuesto; se use en tierra, de un Fuerte *Relox Automato*, portatil, para medir las *Longitudes Geographicas* [...]. No obstante, me parece, que tambien se podrà utilizar en los *Navios*, un especial *Relox Automato*. No ha de ser delicado, y pulido, y cargado de mucha rueda, y artificio. Ha de ser un *Relox grande*, toscos, y fuerte, y que tenga pocas ruedas. La mayor ha de tener 360 dientes iguaisimos; y su reboleción ha de ser en todo, igualisima à la natural reboleción del *Circulo Polar*^{35 36}.

Naquela época a tendencia era a contraria, dado que as outras alternativas non semellaban dar froito. Procurábase dar cunha combinación de mecanismos de relojería que contrarrestase os efectos das condicións adversas. Por exemplo, unha das innovacións de Harrison foi a creación en 1726 da parrilla bimetálica, que aplicou nos seus primeiros cronómetros mariños. Neste sistema, que foi bastante empregado na época, a desigual dilatación dun conxunto de variñas de dous metais diferentes operaba un sistema de palancas que variaba a tensión do resorte en espiral sobre a roda do volante [SELLÉS, 2000, p. 148]. Frei Martín sabía dos esforzos de Harrison, pero consideraba que só un reloxo simple e grande podería ter utilidade, xa que un reloxo delicado sempre estaría sometido ás inclemencias ambientais:

El Ingles Juan *Harrison*, ha trabajado mucho, y trabaja, en fabricar un *Relox*, para medir *exactamente* el *tiempo*, y que sirba para las *Longitudes*. Esto, no ès nuevo, pues desde Christiano *Huigens* se trabaja en lo mismo; y oy estàn las cosas en la misma incertidumbre. Y creo estarà, aunque lluevan *Reloxes Automatos*, muy exactos, unos màs que otros. Esos han de ser, ò de *Metal*, ò de *Madera*, y han de tener un movimiento artificioso, y artificial³⁷.

Entre abril e maio de 1764³⁸, tras levar uns 50 pliegos de texto escritos sobre a determinación da lonxitude, facía referencia a un feito notable: o reloxo de Harrison superara as probas do *Board of Longitude*:

En Inglaterra, ay una Junta de Hombres muy habiles, y expertos, para examinar los *Proyectos para saber la Longitud*. [...] Es Junta, de los más insignes *Mathematicos, Cosmografos, Astronomos, Nauticos, y Experimentales*. Esa Junta, examinò ya el *Relox* de Mr. *Harrison*. Y creo que hasta ahora, solo saliò la Sentencia: *Aprueva, y estese*³⁹.

Dado que a viaxe na que se comprobou definitivamente o bo funcionamento do reloxo do inglés non regresou ata o 15 de maio dese ano, e que a resolución do *Board* non tivo lugar ata o outono, Sarmiento non pode referirse a este dictame. Moi probablemente estea a falar dunha proba semellante que se realizou en 1762 e na que tamén se comprobara o funcionamento do cronómetro de Harrison. Nesta ocasión o reloxo tamén aprobara a exame, pero o *Board of Longitude* resolvera que era necesario realizar probas máis estrita

s. En calquera caso, ante esta «sentencia» do Consello da Lonxitude, Martín Sarmiento proclamaba deseguido que os autómatos eran o mellor medio artificial para resolver o problema:

Yo redondamente concuerdo, en que la *medida* del tiempo por los *Reloxes Automatos*, ès el mejor *medio artificial*, para saber, en *Tierra, y en Mar*, las *Longitudes*⁴⁰.

Porén, a súa confianza na precisión destes aparellos era moi limitada, feito que o levou a pensar que só terían utilidade en combinación cos reloxos naturais: o pulso, os reloxos de area⁴¹... Así, a *única* función que reservaba para os reloxos artificiais era a de coñecer aproximadamente a hora co fin de saber cando era un bo momento para empregar os reloxos naturais. Véxase por exemplo o uso que tería un grande autómato robusto para levar a conta da hora no porto de partida dun navío:

La que creo serà muy del Caso, ès una grande *Rueda de Metal*, graduada en 360. Grados, que vaya dentro del Navio. Tendrà solo 8 rayos, para minorar el peso. Ha de ser *Automata*, y que la muevan algunas ruedas, y las menos que pudieren ser. [...] Dirà alguno, que voy inconsiguiente en introducir *ruedas automatas*, para la Longitud; haviendo manifestado yà sus defectos. Respondo, que la Rueda que introduzco, no tanto ès para medir con *precision* el tiempo; quanto para que, midiendole, de algun modo, sirva de señal, y guía, para el *Quando* se ha de observar el *Relox*, constante, natural, y fixo de las *Estrellas Polares*; cuya revolucion siempre visible, se completa en 24 horas Equinociales⁴²; sin necesitar, que se le dè cuerda, ni temer que se atrase, ò adelante⁴³.

Como se pode aprezar na anterior cita, o aparello descrito respondía ás características esixidas por Sarmiento para un reloxo de engraxes: ser grande, de poucas pezas, robusto (de metal), sinxelo... Agora ben, convén recalcar que a súa

utilidade estaría restrinxida a establecer un bo momento para determinar a lonxitude mediante métodos naturais —concretamente mediante as estrelas—, para o que propoñía un procedemento de colleita propia que, desgrazadamente, era completamente erróneo e que se describe no seguinte apartado.

3.2. Os métodos astronómicos: as diferenzas angulares e a España Celeste

O primeiro paso requirido polo método sarmentiano das distancias angulares, semellante ao proposto por Samuel Fyler en 1699⁴⁴, era observar as estrelas, anotando cales se situaban no Meridiano dun lugar durante a medianoite:

Todo el cuidado se ha de poner, en observar tal día, mes, y año, y al punto de la *Media Noche*: Què *Luceros*, ò *Estrellas fixas* se hallan, ò pasan por el Meridiano, de Cadiz v.g. Esta observacion se debe repetir muchas noches, asta certificarse bien. Para esto, no se debe hacer caso del Sol, ni de la Luna, ni de los Planetas, como si no hubiese tales Cuerpos de movimientos encontrados. Debe servir de Guia, un *Astro* que tenga el *solo* movimiento uniforme, de *Oriente*, à *Poniente*, cuya *medida* sea la *Equinoccial*. Es constante, que ese *Astro* harà sus *revoluciones*, desde el Meridiano, hasta bolver al mismo punto, en 24 horas equinocciales⁴⁵.

Como se pode ver, Sarmiento sinalaba aquí que as estrelas completaban unha volta en 24 horas, en lugar das aproximadamente 23 horas e 56 minutos que en realidade son necesarias para esta revolución. Este erro tiña consecuencias a ter en conta ao analizar o seu razoamento. Se este xiro durase exactamente 24 horas, un astro determinado acharíase no mesmo lugar do ceo cada noite á mesma hora, pero este non é o caso. As estrelas completan algo máis dunha volta arredor do polo cada noite, razón pola que a súa posición non é a mesma cada noite a unha hora concreta. Por tanto, no caso de usar as estrelas para saber a hora pola noite non abonda co razoamento de Frei Martín, xa que tamén hai que ter en conta o día en curso. Esta incorrección non é a que invalida totalmente o seu método para saber as lonxitudes, xa que incluíndo no cómputo o día do ano era posible saber, por exemplo, que estrela se encontraría no meridiano de Cádiz durante unha noite dada a unha hora determinada. Pero a súa idea, que se resume no seguinte parágrafo, tiña problemas máis serios:

Al punto de *media noche*, observe el *Piloto perdido*, què Estrella visible del *Cascaron* [firmamento], llega à su *Meridiano*. Nota la distancia que esa tiene de la Estrella, que à media noche està en el *Meridiano de Cadiz*; y esa distancia en Grados, seràn los *Grados*, que en *Longitud* dista de *Cadiz*⁴⁶.

O seu método consta por tanto de moi poucos pasos. Supóñase que se teñen unhas táboas que indican que na medianoite do día en curso Capella estará no meridiano de Cádiz. A continuación, durante a medianoite no lugar no que se quere saber a lonxitude, mídase en que meridiano está Capella. Se esta estrela está a 15° do

meridiano do lugar de observación tomando como vértice o polo norte celeste, entón este sitio de referencia estará a 15° de lonxitude. Deste xeito sería trivial determinar a coordenada en cuestión. Porén, o que acontece no ceo non é o que pensaba Sarmiento. Se esa noite se levase á práctica o seu método, o que comprobaría o piloto perdido sería que a medianoite *Capella estaría no meridiano do lugar de observación*⁴⁷, ao igual que acontecería en Cádiz a medianoite.

Supóñase que se observa o ceo *simultaneamente* desde Cádiz e o lugar no que se encontra o piloto. Nese caso, efectivamente se aprezaría que Capella estaría no meridiano da cidade andaluza, mentres que se vería a 15° desta liña na ubicación do piloto, pero isto non é de ningunha utilidade. Unha hora despois (o que equivale a unha diferenza de 15° en lonxitude), o movemento da bóveda celeste debido á rotación terrestre fará que o piloto vexa Capella no seu meridiano, polo que non pode deducir a súa lonxitude con este método.

Frei Martín incluía outra variante da súa idea que adocecía do mesmo erro:

A qualquiera hora de la noche, observe el Piloto, què Estrella visible del borde del Cascaron, se halla en su Meridiano. Quente quantos Grados dista de la primera de la media noche de Cadiz, y sabrà entonces, què hora Equinoccial serà entonces en el dho. Puerto, y sabrà la Longitud entre los dos Sitios⁴⁸.

Así, Sarmiento pensaba que observando as estrelas se podía saber a hora dun lugar afastado concreto (o que resolvería o problema da lonxitude). Supóñase que se sabe que unha noite concreta o «lucero» Deneb está a medianoite no meridiano de Cádiz, e que no momento que o piloto fai a súa observación no seu meridiano está situada outra estrela brillante, Vega. Comprobarase que esta dista uns 30° da primeira (o vértice do ángulo é o polo norte celeste). O navegante sabería así que esta é a diferenza en lonxitude entre ambos lugares, que se podería transformar a diferenza horaria de xeito trivial.

O problema de fondo é o mesmo que no caso anterior. Seguindo co exemplo, supóñase que son as 12 da noite no lugar no que está o piloto. Como xa se indicou previamente, se Deneb estivo no meridiano de Cádiz a medianoite entón tamén pasará polo meridiano do lugar de observación do piloto ás 12 da noite (hora local). Por outra banda, saber que Vega e Deneb están situadas a 30° non é de utilidade, porque *en todo momento forman ese ángulo*. Se fose posible saber canto tempo fai que Deneb estivo no meridiano de Cádiz poderíanse realizar os cálculos necesarios para determinar a lonxitude, pero o método sarmentiano non permite determinar este dato.

En calquera caso, dado que el pensaba que en cada lugar concreto da Terra a unha hora determinada todos os días a mesma estrela se situaba no meridiano, para utilizar o seu método sería de utilidade dispoñer da información correspondente para todos os lugares españois. Deste xeito, propoñía trazar unha «España celeste»

a partir das estrelas que culminaban en cada lugar á hora establecida (medianoite). A proxección no ceo destes datos sería a base para a elaboración desta carta:

tocandolè à muchos Pueblos de España, qe. por ellos pasen Lineas Rectas, hasta tocar en las Estrellas que les corresponden; se podrá idear en el *Cielo*, una *España Celeste*, con las mismas medidas de Latitud, y Longitud, que tiene la *España Terrestre*. [...]

Pongo por exemplo. Si en la *España Terrestre*, està *Madrid* en 40 Grados, y 10 Minutos de *Latitud*; y en 14 Grados, y 15 minutos de *Longitud*. Y si el *Cabo de Finisterre*, terrestre, està en 43 Grados, y tres Minutos de Latitud; y en 6 Grados, y 58 Minutos de Longitud. Resultará de mi *Idea*, que el *Madrid Celeste*, y el *Celeste Cabo de Finis-terre*, tendràn, en el *Cielo*, los mismos Grados de distancias, del *Equador*, y del *primer Meridiano*⁴⁹.

Por suposto, non só en España se poderían beneficiar desta invención, senón tamén no resto do planeta:

En idear yo [...] una *España Celeste*; y por consiguiente, un *Madrid Celeste*, [...] ni adulo à España, ni à Madrid. Lo mismo dirè de Fonzabadon, pues le tocarà tambien el que haya [...] Fonzabadon Celeste. Lo mismo tocarà à todas las Provincias, y Lugares del Mundo⁵⁰.

Frei Martín supoñía que «que aviendo mas Lugares, que Estrellas, se quedaràn sin Estrella, muchos Lugares», pero isto non constituía un problema para que no «*Mapa* se utilicen todas las *Estrellas* que ay». Ademais, grazas á mellora dos telescopios cada día se descubrían máis estrelas no ceo, e engadía acertadamente que «Si los telescopios se perficionan màs, se descubririran màs»⁵¹.

A súa proposta desta «España Celeste», por tanto, era coherente co seu método, pero polos motivos expostos non «facilitaria mucho el *conocimiento de las Longitudes*»⁵².

3.3. Os métodos matemáticos: proporcións, trigonometría e a España Austral

Martín Sarmiento tamén veu a parar en «un *Pensamiento*, que ni me parece *Paralogismo*; ni me atrevo à proponerle, por ser tan facil, que el mas Rustico, Matalote, ò Gurumete, perdido en alta Mar, y despues de una desecha Borrasca, y Tempestad, podrá decir en *menos de un Credo*, en què parage del Mundo se halla su *Navio*»⁵³. Consistía en «sacar, por la *regla de tres*, una *cuarta proporcional*; sabiendo antes los *tres primeros terminos*»⁵⁴. Describía o problema do seguinte xeito (Figura 1):

Hallar la distancia, y Longitud del Punto X. en la Linea, ò rumbo, ò rayo AC, de un largo Camino, o larga Navegacion; aviendose perdido el *Caminante*, ò *Navegante*, en su *Carrera*, sin *Sol*, ni *Luna*, ni *Relox*; y aviendo perdido la *Estima*, y *Cuenta del Viage*: y sin saber en què *Pais*, ni en que *Hora vive*.

Resolucion Hypotheticæ.

En el triangulo rectangulo ABC, cuyos tres lados, y tres Angulos, son conocidos, tomesè el punto Anonymo X; y de el se tirerà la Latitud ZX. Despues:

Asi como la Linea BC Latitud:

A la Linea ZX Latitud:

Asi la Linea AC Hypothenusa:

Al pedazo AX, que ès la distancia del sitio de donde se saliò: y XC La distancia al Lugar, à donde se Camina.

Del mismo modo, se harà la *regla de tres*, para saber la Longitud AZ. Asi, BC a ZX: como AB à ZA. Si la Linea AB es la Equinoccial, las Latitudes, son absolutas. Si solo ès un Paralelo, se han de reducir. Lo mismo digo de la Longitud AZ en que se halla el Navio perdido en X. [...] Si en el punto A como centro, se fixa una *Rosa* [náutica], con *rumbos*, y graduada con los 360 *Grados*, en la circunferencia *màs exterior*; se harà todo visible; a qualquiera se le ofrecerà, el *Derrotero* que yò he seguido, para reducir à un *solo triangulo*, *Longitudes*, *Latitudes*, y *distancias*, de un *parage desconocido*⁵⁵.

PROBLEMA De La deseada Longitud.

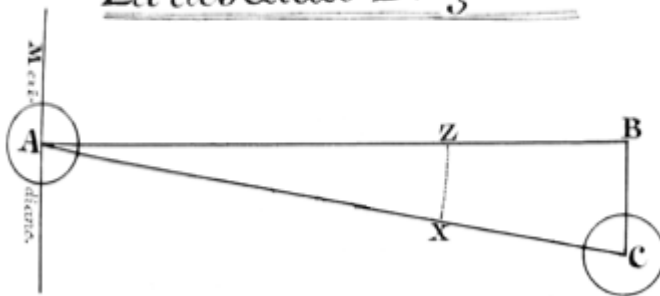


Figura 1. Problema de la deseada longitud⁵⁶

En poucas verbas, segundo Frei Martín, quérese viaxar desde A a C, e nun intre dado o piloto quere saber a lonxitude AZ na que se encontra. Para aplicar o seu método é preciso coñecer BC e AB, medir a latitude ZX do lugar de observación e deducir a lonxitude AZ das relacións de proporcionalidade correspondentes. Hai varios problemas neste razoamento. Por exemplo, Sarmientoazona como se estivese no plano, pero este proceder non é correcto xa que Terra e esférica. Ademais, a latitude e a lonxitude son tratadas no cálculo como distancias, pero son

ángulos. Por outra banda, xa que se supón que o piloto está perdido, como pode saber que se atopa sobre a liña AC, como indica Frei Martín? O navegante non ten xeito de averigualo, polo que non pode empregar este método para averiguar a súa lonxitude. O frade beneditino parecía non ter demasiados coñecementos de trigonometría esférica [PÉREZ RODRÍGUEZ, 2009], o que non lle axudou a enfrontarse a este problema.

Noutro lugar⁵⁷ describía outro método semellante no que empregaba relacións trigonométricas en lugar da proporcionalidade, adolecendo o razoamento de problemas semellantes [PÉREZ RODRÍGUEZ, 2009]. Nas últimas páxinas do seu texto sobre a determinación da lonxitude facía un resumo das propostas que realizara ao longo do escrito, e ao referirse aos métodos aquí expostos queda claro que non caeu na conta dos erros que cometera:

Por ser apasionado de lo muy sencillo, y natural, que obra la Naturaleza en todo; he creído, que la *Longitud* estará à primer folio, en una cosa *trivial*. Y sino padezco *Paralogismos*, me parece que he tropezado con cosa que pueda satifacer al *Problema*, y solo su suma *facilidad* me hace desconfiar⁵⁸.

En consonancia coa súa proposta de elaborar unha «España Celeste», no contexto que agora se detalla propuxo tamén a realización dunha «España Austral», e mesmo unha «Europa Austral»⁵⁹ para lidiar co medo a navegar polos mares do Sur:

Diràn algunos, que esos Mares [australes], son peligrosos, porque estàn quajados de Islas. Eso no aterrò à los muchos que los han *navegado*; y despues acà, no se han aumentado las Islas [...]. Lo primero que se debe demarcar, ès una *España Austral*, que Geograficamte. sea Antipoda de nuestra España de Europa; y al contrario. Los Antipodas de Madrid, se deben colocar en el Paralelo 40 y 26 Minutos de Latitud Austral, y que entre ese Punto, y Madrid, medien 180 Grados de Longitud.

Asentado el *punto* de los *Antipodas de Madrid*, serà facil, demarcar sobre èl un *Mapita*, como el de *España*; y con su verdadera *Figura*⁶⁰.

Mediante este mapa se facilitarí a coñecemento das lonxitudes:

Esto, que parece Fantasia, podrà tener su utilidad para las Longitudes; si el Perfil, ò Perimetro de una, y de otra España, se señala con Vermellon, en el Glovo, y en los Mapas. [...]

Las principales Ciudades de Europa, tienen ya conocidas sus Latitudes, y Longitudes. Los Antipodas de esas Ciudades, estàn en la misma Latitud, pero Austral, y con 180 Grados de Longitud, entre la Ciud. Boreal, y la Austral.

Poco importa, que los *Antipodas* de las Ciudades dichas, estèn en *tierra*, ò en *Isla*, ò en solo *Mar*. Vastarà la *señal*, y el *nombre*⁶¹.

Unha vez trazada esta España ou Europa Austral, o método para determinar a posición dun barco sería o seguinte:

Servirà de grande consuelo, para el Piloto que se perdiò por Borrasca en el Mar Pacifico, colocar la *Rosa Geographica Nautica*, en el *Punto* en donde tomò la *altura*; y ver que los Rayos, y Rumbos, pasan por Ciudades conocidas, de Europa, y cuyas Latitudes, y Longitudes; son ya conocidas. Si la Linea de *Norte-Sur*, de la *Rosa* v.g. pasa por el *Madrid Austral*; dirà el *Piloto*. Luego, me hallo en el Meridiano de los dos *Madrises*, que distan *180 Grados de Longitud*. Esta *trampa Legal*, para saber la *Longitud* en el *Mar Pacifico*, no la he leido; pero se deduce de lo que he escrito hasta aquí⁶².

Evidentemente, o fundamento subxacente desta idea de Sarmiento é análogo ao comentado neste apartado. O piloto debe medir a latitude na que se encontra, colocar unha rosa náutica no mapa na posición na que está e ver que direccións pasan por lugares coñecidos. A 180 grados de diferenza en lonxitude haberá cidades de lonxitude determinada previamente, polo que para o piloto sería trivial averiguar a súa posición. O erro que invalida todo o razoamento repítese: o navegante non sabería onde se atopa, polo que non tería xeito de saber onde colocar a rosa náutica.

4. CONCLUSIONES

Frei Martín demostrou coñecer ben os métodos que se popuxeran para tentar solucionar o problema da lonxitude e mesmo realizou diversas achegas para tratar de resolvelo que non foron acertadas. Con todo, o interese e determinación cos que abordou o tema merece ser recoñecido, tendo en conta que no seu tempo o atraso científico español era evidente (recórdense as verbas citadas previamente de Jorge Juan nas que se laiaba desta situación). Un cuarto de século antes de que os novos métodos para determinar a lonxitude aparecesen impresos en España, Sarmiento estaba perfectamente ao tanto do estado da cuestión en Europa e propoñía procedementos de colleita propia dos que só desconfiaba pola súa sinxeleza. Como bo ilustrado, quería ademais que os coñecementos fosen de utilidade para todo o xénero humano, e neste caso non só para as persoas versadas na Cosmografía e a Navegación Astronómica; con tal fin preocupouse de derivar das súas achegas métodos —as Españas Celeste e Austral— que puidesen ser empregados por mariñeiros con escasa formación matemática.

5. AGRADECIMENTOS

Ao Museo de Pontevedra e ao Consello da Cultura Galega, por facilitarnos o acceso aos escritos de Sarmiento.

Este traballo forma parte do proxecto financiado polo MEC, código SEJ2006-15589-C02-01/EDUC, parcialmente financiado con fondos FEDER.

- 1 Sarmiento sempre afirmou que era galego de Pontevedra, pero por diversas circunstancias ata hai pouco se lle tiña por natural de Villafranca del Bierzo. Documentación que ven de saír á luz parece probar que Sarmiento naceu en San Juan de Cerdedo (Pontevedra). SANTOS [2008].
- 2 O escrito no que Frei Martín tratou cunha maior extensión este tema, redactado entre 1763 e 1764, leva por título *Sobre hacer potable la agua del mar*, o cal pode localizarse en SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2547-3389, fol. 410v-746r. As súas reflexións acerca da determinación da lonxitude comezan aproximadamente no n. 2725, fol. 485r, chegando estas ata o final do texto.
- 3 O sistema de referencia que se emprega para medir a lonxitude é completamente arbitrario, a diferenza do que acontece coa latitude. A rotación terrestre permite definir con claridade lugares útiles para determinar esta última magnitude coma os polos ou o Ecuador, desde os que é lóxico medila. En cambio, ningún meridiano ten nada de particular, polo que calquera pode ser empregado coma orixe para contabilizar a lonxitude xeográfica. Isto motivou que no decurso dos tempos se empregasen múltiples meridianos de referencia.
- 4 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2725, fol. 485r-485v.
- 5 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2759, fol. 500r.
- 6 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 3º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XV, n. 4451, fol. 448r-448v.
- 7 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2726, fol. 485v-486r.
- 8 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2726, fol. 486r.
- 9 En diferentes lugares indicaba as fontes que consultara para alcanzar este coñecemento, coma a *Histiodromica* de Caramuel en SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3278, fol. 702r-702v; a *Connoissance des Mouvemens Celestes, pour Le Anne Comune de 1765* editado pola Academia das Ciencias de París en SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3276, fol. 701r-701v; e o duodécimo tomo da *Hidrographia* de Fournier en SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2831, fol. 524r. Tamén ía recollendo nas Gacetas algunhas novas que aparecían sobre o particular. Véxanse no texto SARMIENTO, Fr. M. *Extracto de Gazetas desde El año de 1731, asta el de 1745. En Madrid*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XVIII, fol. 337r-423r; os extractos de 27 de febreiro de 1731 (fol. 381v), 6 de xaneiro de 1733 (fol. 386v), 20 de agosto de 1737 (fol. 404r) e 13 de maio de 1738 (fol. 406v), nos que Frei Martín recollía diversas solucións que se ían proponendo.
- 10 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2760, fol. 500r-500v. Nas citas dos textos de Frei Martín respéctanse a ortografía orixinal e os subliñados.

- 11 JUAN [1774, p. 6]. Escrito redactado en 1765.
- 12 Citado por SOBEL [1998, p. 36].
- 13 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3277, fol. 701v-702r.
- 14 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2828-2829, fol. 523r-523v.
- 15 O número concreto destas ocultacións pode variar entre 0 e 3. As eclipses lunares penumbrais son dificilmente visibles, polo que non se toman en conta aquí.
- 16 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2831, fol. 524v.
- 17 Unha boa aproximación ao método das distancias lunares está dispoñible en SELLÉS [2000, pp. 177-209].
- 18 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2832, fol. 524v.
- 19 SARMIENTO, Fr. M. *Martinus contra Martinum*. Colección Medina-Sidonia, Tomo I, fol. 190r.
- 20 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2723, fol. 484v.
- 21 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2740, fol. 492v.
- 22 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2747, fol. 495r.
- 23 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2753-2754, fol. 497v-498r.
- 24 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2860, fol. 536r.
- 25 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2757, fol. 499v.
- 26 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 3º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XV, n. 4453, fol. 449r.
- 27 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 3º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XV, n. 3279, fol. 703r.
- 28 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2889-2890, fol. 547v-548r.
- 29 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2894, fol. 549v.
- 30 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2886-2887, fol. 546v-547r.
- 31 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 3º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XV, n. 4452, fol. 448v-449r.
- 32 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2865, fol. 538r.

- 33 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3290, fol. 706v.
- 34 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3362, fol. 734r.
- 35 Nótese que Sarmiento incorre aquí no erro de pensar que a revolución diaria das estrelas necesita de 24 horas exactas para completarse.
- 36 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3362, fol. 734r-734v.
- 37 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3276, fol. 701v.
- 38 Uns poucos folios antes da seguinte cita, en n. 3273, fol. 700r, di que é 3 de abril de 1764. No seguinte tomo da *Obra de los 660 Pliegos*, SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 3º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XV, n. 3526, fol. 63r, informa de que o día anterior ao que escribía era 18 de maio de 1764. É claro que entre esas dúas datas xa tiña novas sobre o éxito de Harrison. Dado que a referencia que fai a esta circunstancia se produce só tres folios despois de dicir que corría o 3 de abril, é razoable concluir que a primeiros deste mes, cando menos, estaba ao tanto da resolución do *Board*.
- 39 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3281, fol. 703r-703v.
- 40 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3281, fol. 703v.
- 41 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3291, fol. 707r-707v.
- 42 Lémbrese que este dato é incorrecto, dado que a revolución das estrelas debida á rotación terrestre necesita uns catro minutos menos cá cifra proporcionada por Sarmiento.
- 43 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3373-3374, fol. 738v-739v.
- 44 FYLER [1699]. Sarmiento non parecía ter noticia desta publicación.
- 45 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3302, fol. 711r-711v.
- 46 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3311, fol. 714v.
- 47 En realidade a estrela non estaría exactamente no meridiano, senón que se separaría del nun pequeno ángulo. No caso comentado a diferenza sería aproximadamente de 11' de arco, unhas oitenta veces menor do que pensaba o frade.
- 48 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3311, fol. 714v.
- 49 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3322-3323, fol. 719r-719v.
- 50 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3343, fol. 723v.
- 51 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3345, fol. 724v.

- 52 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3389, fol. 745v.
- 53 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2068, fol. 577v.
- 54 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2069, fol. 577v.
- 55 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2970-2972, fol. 578r-579r.
- 56 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 2969, fol. 578r.
- 57 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3223-3236, fol. 681v-686r.
- 58 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3385, fol. 743v.
- 59 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3132, fol. 645r.
- 61 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3130-3131, fol. 644r-644v.
- 61 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3131-3133, fol. 644v-645r.
- 62 SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*. Colección Medina-Sidonia, Tomo XIV, n. 3133, fol. 645r-645v.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Fontes manuscritas

Cando Sarmiento morreu o seu amigo Don Pedro Alcántara Alonso Pérez de Guzmán, XIV Duque de Medina Sidonia, fixo que se sacara copia dos seus manuscritos, a cal ocupou dezaioito tomos. Hoxe en día non se conservan os orixinais de Frei Martín, pero si as copias de Medina Sidonia e outras que se fixeron a partir delas. As copias solicitadas polo Duque achanse na actualidade no Arquivo de Medina Sidonia, exceptuando tres tomos que se conservan no Museo de Pontevedra. Para a realización desta investigación empregouse principalmente a reprodución dixital da Colección Medina Sidonia dispoñible no Consello da Cultura Galega, en Santiago de Compostela.

SARMIENTO, Fr. M. *Martinus contra Martinum*, Colección Medina Sidonia, Tomo I.

— *Volumen 2º de la Obra de 660 Pliegos*, Colección Medina Sidonia, Tomo XIV.

SARMIENTO, Fr. M. *Volumen 3º de la Obra de 660 Pliegos*, Colección Medina Sidonia, Tomo XV.

— *Extracto de Gazetas desde El año de 1731, asta el de 1745. En Madrid*. Colección Medina Sidonia, Tomo XVIII.

Fontes impresas

- ALLEGUE, P. (1993) *A Filosofía Ilustrada de Fr. Martín Sarmiento*. Colección «Universitaria», 1ª edición, Vigo, Edicións Xerais de Galicia.
- ÁLVAREZ LIRES, M. (2000) *A Ciencia no Século XVIII: Fr. Martín Sarmiento (1695-1772), unha figura paradigmática*. 1ª edición, Vigo, Universidade de Vigo.
- ANDREWES, W.J.H. (ed.) (1993) *The Quest for Longitude: The Proceedings of the Longitude Symposium Harvard University*. 1ª edición, Cambridge, Collection of Historical Scientific Instruments, Harvard University.
- FYLER, S. (1699) *Longitudinis Inventae Explicatio non longa, or, Fixing the Volatilis'd and Taking Time on Tiptoe, Briefly Explain'd*. 1ª edición, London, sen editor.
- GONZÁLEZ, F.J. (1992) *Astronomía y navegación en España. Siglos XVI-XVIII*. 1ª edición, Madrid, Mapfre.
- JUAN, J. (1774) *Estado de la Astronomía en Europa & Breve noticia de la vida de D. Jorge Juan por su secretario D. Miguel Sanz*. 1ª edición, Madrid, Imprenta Real de la Gazeta.
- PÉREZ RODRÍGUEZ, U. (2009) *Astronomía, Matemáticas e o seu ensino na obra de Frei Martín Sarmiento (1695-1772). Aplicacións didácticas da Historia das Ciencias e das Técnicas*. Tese de doutoramento. Universidade de Vigo. Inédita.
- ; ÁLVAREZ LIRES, M.; PORTA, P. (2006) «Las reflexiones de Fray Martín Sarmiento sobre la cuadratura del círculo». *Llull*, 29(64), 357-376.
- REGUERA, A.T. (2006) *La obra geográfica de Martín Sarmiento*. 1ª edición, León, Universidad de León.
- SANTOS, J. (2008). «Martín Sarmiento, natural de San Juan de Cerdedo». *Sarmiento*, 12, 9-21.
- SELLÉS, M.A. (2000) *Navegación astronómica en la España del siglo XVIII*. 1ª edición, Madrid, UNED.
- SOBEL, D. (1998) *Longitude*. 1ª edición, Madrid, Debate.

