

Astronomía y cosmografía entre 1561 y 1625. Aspectos de la actividad de los matemáticos y cosmógrafos españoles y portugueses¹

Víctor Navarro Brotóns*

Las exploraciones geográficas llevadas a cabo por los pueblos ibéricos, el control y dominio de las tierras conquistadas, el mantenimiento de los imperios y la construcción del estado plantearon una serie de exigencias técnico-científicas. Estas exigencias le dieron gran relevancia a la astronomía y sus aplicaciones, particularmente al arte de navegar (astronomía náutica), geografía y cartografía. En la España del siglo XVI y basándose y aprovechándose de la experiencia portuguesa se crearon instituciones como la Casa de la Contratación de Sevilla. En 1524 se fundó el Consejo de Indias y en la segunda mitad del siglo XVI se creó el cargo, asociado al Consejo, de cosmógrafo-cronista mayor, y la Academia de matemáticas de Madrid. La creación de esta última institución se ha relacionado con la anexión de Portugal, con la demanda de cosmógrafos, y con los proyectos de reforma de los instrumentos, regimientos y cartas de navegar. Su primer director fue el portugués Joao Baptista Lavanha. Además, en las universidades, también se prestó atención a las relaciones astronomía-cosmografía, también, en parte, por la necesidad de formar cosmógrafos.

El presente trabajo se ocupa de describir diversos aspectos de las relaciones astronomía-cosmografía, en la época de los primeros felipes. Se dedica especial atención a los mencionados proyectos de reforma y a los resultados alcanzados, y, de forma general, a las actividades astronómicas y propuestas de nuevas tablas de algunos de los más destacados autores portugueses y españoles en el ámbito de la cosmografía y de la astronomía, como Rodrigo Zamorano, João Baptista Lavanha, Andrés García de Céspedes, Manuel de Figueiredo y Antonio de Naiera.

The geographic explorations carried out by Spain and Portugal, the control and rule of the lands conquered, the maintenance of empires and construction of the state all gave rise to a series of technical and scientific requirements. These requirements made astronomy and its applications –particularly in the realms of the art of navigation (nautical astronomy), geography and cartography– of prime importance. Institutions such as the Casa de la Contratación of Seville were established in sixteenth-century Spain on the basis of and drawing upon Portuguese experience. In 1524 was established the Consejo de Indias and the latter half of the sixteenth century also saw the creation of the post, associated to the Consejo, of head cosmographer-chronicler, and the Academy of Mathematics in Madrid. The foundation of the latter has been linked to the annexation of Portugal, the demand for cosmographers and projects to improve navigational instruments and charts and pilots' sailing handbooks. Its first director was Juan Bautista Labaña of Portugal. Universities too paid attention to the relationship between astronomy and cosmography, also partly due to the need to train cosmographers.

This paper addresses different aspects of the astronomy-cosmography relationship at the time of the first Philips. Particular emphasis is laid on the improvement projects mentioned above and their outcome, astronomic activities in general, and the new tables proposed by some of the most outstanding Portuguese and Spanish authors on cosmography and astronomy such as Rodrigo Zamorano, João Baptista Lavanha, Andrés García de Céspedes, Manuel de Figueiredo and Antonio de Naiera.

* Departament d'Història de la Ciència i Documentació. Universitat de València.

¹ Una primera versión de este trabajo se presentó en la reunión internacional celebrada en Óbidos en el año 2000 sobre "A Prática da Matemática em Portugal", organizado por la Sociedade Portuguesa de Matematica y el Seminário Nacional de História da Matemática. Agradezco a Henrique Leitão y a Luis Saraiva la invitación a participar en dicha reunión; a Leitão, además, por sugerirme el tema de mi intervención. A los colegas que asistieron a

1. La organización de la actividad náutica y cosmográfica en España bajo la influencia de Portugal

Las exploraciones geográficas llevados a cabo por los pueblos ibéricos, el control y dominio de las tierras conquistadas, el mantenimiento de los imperios y la construcción de los estados plantearon una serie de exigencias técnico-científicas. Estas exigencias le dieron gran relevancia a la astronomía y sus aplicaciones, particularmente al arte de navegar (astronomía náutica), geografía y cartografía. Los adelantados del nuevo arte de navegar fueron los portugueses; ellos iniciaron, en la segunda mitad del siglo XV, la navegación astronómica moderna, crearon los “regimientos” náuticos y redactaron las primeras guías náuticas, de las que las más antiguas conservadas son las llamadas *Guia de Munich* y *Guia de Evora*. Las bases científicas de estas guías y regimientos eran los conocimientos y técnicas de observación y cálculo desarrolladas en la Antigüedad clásica, reunidas ampliadas y sistematizadas por Ptolomeo, y, en el mundo medieval, por árabes, judíos y cristianos. También es conocida la importancia de la tradición hispanomusulmana e hispanojudía en este campo, desde Azarquiel y Alfonso el Sabio, hasta Abraham Zacut. En las tablas del movimiento del Sol de este último autor, un astrónomo judío nacido en Salamanca, se basaron los primeros regimientos náuticos de la altura del Sol.²

En Portugal y en España se crearon instituciones donde, además de funciones administrativas de todo lo relacionado con las navegaciones, se llevaban a cabo otras tareas tales como el diseño de instrumentos y mapas, y se centralizaba y sistematizaba la información. En España, en relación con esto se estableció la Casa de la Contratación de Sevilla donde, además de todas estas funciones, se impartía instrucción en materia de náutica y cosmografía. En 1508, se creó, en la Casa sevillana el oficio de Piloto Mayor, cuya misión era dirigir la elaboración del mapa padrón (patrón) real y formar y examinar a los pilotos que navegaban a las Indias occidentales (la llamada “carrera” de Indias). El primer titular del puesto fue el florentino Americo Vespucci, al que sucedieron a lo largo del siglo XVI Juan Díaz de Solís, Sebastian Caboto, Alonso de Chaves y Rodrigo Zamorano. Asimismo, en 1523 se estableció el oficio de “cosmógrafo y maestro de hacer cartas y astrolabios y otros ingenios para la navegación”, cuyo primer titular fue el portugués Diego Ribeiro; en 1528 se nombró a otros cosmógrafo, Alonso de Chaves, con el mismo salario y obligaciones y en 1534, tras la muerte de Ribeiro (1533), se

la reunión, especialmente José Chabás y Bernard Goldstein, por sus comentarios sobre mi ponencia. Y a José Chabás, además, por proporcionarme las efemérides de Leovitius. A María Isabel Vicente Maroto y Mariano Esteban Piñeiro por facilitarme copias de los manuscritos de Lavanha.

² Véase Albuquerque (1975), sobre astronomía náutica, y, sobre Zacuto, véase Chabas, Goldstein (2000).

nombró para sustituirle a Diego Gutiérrez. Gutiérrez cesó en el puesto en 1545, como consecuencia de la denuncia de otros cosmógrafos (Alonso de Chaves, Pedro Medina y Pedro Mexía) de cometer errores graves en la confección de cartas e instrumentos.

En 1537 se crearon otros dos puestos de "cosmógrafo de hacer cartas". Por otra parte, en 1524 Carlos I fundó el Consejo de Indias, que estuvo inicialmente casi exclusivamente dirigido por juristas, hasta las reformas de Juan de Ovando de 1571. De estas reformas resultó la creación del puesto de cronista-cosmógrafo mayor de Indias. Y, volviendo a la Casa de la Contratación, en 1552, es decir, ya en la época de Felipe II (como príncipe regente), se creó, en 1552 una cátedra de cosmografía y arte de navegar, cuyo primer catedrático fue Jerónimo de Chaves.

Además de estos puestos, hubo otros matemáticos que tuvieron el reconocimiento de cosmógrafos de honor y autorización oficial para construir cartas e instrumentos, pero sin ser titulares de ningún puesto ni recibir salario. Uno de ellos era Pedro de Medina, cuyos padres pertenecían a la Casa de Medina Sidonia. Pedro Medina fue tutor de un hijo del duque, un puesto muy prestigioso, y estaba probablemente poco interesado en los bajos salarios de los cosmógrafos. Otros dos cosmógrafos sin salario fueron Sancho y Diego Gutiérrez, quienes al contrario que Pedro Medina, solicitaron repetidamente un salario, hasta que lo consiguieron.

Esta relación no agota, ni mucho menos, la lista de cosmógrafos y pilotos que trabajaron al servicio de la corona española en el entorno de la Casa de la Contratación, entre los que figuraron un notable número de portugueses, y, en mucha menor cantidad, de otros países. Recordemos aquí también, entre los portugueses, a los hermanos Faleiro, que colaboraron en la preparación de la expedición de Magallanes, y a los Reinel, padre e hijo, todos ellos también con el título de cosmógrafos y autorizados.³

Toda esta organización y creación de puestos debió llevarse a cabo a partir de la experiencia portuguesa. En Portugal, las Casas de Guinea (luego llamada también da Mina) y de la India (ésta última establecida a principios del XVI) eran organismos esencialmente económicos. Los asuntos más propiamente náuticos correspondían a un organismo complementarios, los "Armazéns da Guiné e Índia", acerca de cuya organización, funcionamiento e historia poco se sabe, debido a la destrucción de los archivos como consecuencia del terremoto de 1755. De varios documentos se infiere, no obstante, que en estos "Armazens" estaban depositados los padrones de las cartas náuticas y se preparaban los navíos para el servicio real. Por otra parte, es evidente que la creación del puesto de piloto mayor en la Casa de la Contratación obedecía al propósito de introducir

³ Véase Pulido (1950), Lamb (1995), López Piñero (1979), Esteban Piñeiro (1993).

en España la navegación astronómica desarrollada en Portugal. También parece indudable que el nombramiento de Américo Vespucci estaba relacionada con los conocimientos y experiencia que adquirió en Portugal. Por ello, Texeira da Mota señaló la posibilidad de que hubiera en Portugal un puesto similar. Varios documentos del primer cuarto del siglo XVI muestran que existían en Portugal, en esa época, los puestos de patrón mayor (“patrao-mor”) y piloto mayor (“piloto-mor”) del Reino, así como los cargos de “patrao-mor” y de “piloto-mor da navegação da Índia e mar oceano”, pero se ignora si sus funciones incluían la enseñanza y el examen de pilotos. Para los últimos cargos citados se nombraron, de 1503 a 1526, a los pilotos Pero Anes, Gonçalo Álvares, João de Lisboa y Fernando Alonso, pero las respectivas cartas reales de nombramiento no especifican las funciones de estos cargos. Ignoramos, por tanto, si tales pilotos mayores tenían que desempeñar alguna tarea docente y/o de examen de pilotos. En resumen, no es inverosímil que la creación del puesto de piloto mayor en la Casa de la Contratación se inspirase en el cargo de “piloto-mor da navegação da Índia e mar oceano” existente en Portugal.⁴

En la misma línea de influencia del ejemplo portugués cabe señalar también la creación del patrón real y del cargo de cosmógrafo-catedrático de la Casa de la Contratación, destinado principalmente a dirigir la enseñanza de los hombres de mar. El cargo de cosmógrafo con funciones docentes aparece por primera vez en Portugal asignado a Pedro Nunes, que fue nombrado “cosmógrafo mayor” en 1547.⁵

Así, la empresa de las exploraciones y la expansión territorial ultramarina motivo la aparición de nuevos grupos profesionales: cosmógrafos, pilotos y “maestros de hacer cartas”, en particular, que se ocuparon de diseñar y poner a prueba los instrumentos, cartografiar mares y tierras, revisar y poner al día las tablas y regimientos, analizar, discutir y poner a prueba los distintos métodos y técnicas de observación, en particular para la determinación de las coordenadas geográficas y la declinación magnética, y elaborar manuales precisos y didácticos para la enseñanza de las nuevas técnicas. Algunos de estos manuales, como los de Pedro Medina y Martín Cortés, tuvieron una gran difusión europea e influyeron enormemente en la expansión de la astronomía náutica y el arte de navegar. Así, el *Arte de navegar* de Medina fue traducido al francés, flamenco e inglés y reeditado 15 veces en estas lenguas. Y el de Martín Cortés fue editado seis veces en versión inglesa.⁶ El contenido de estos manuales responde bastante bien a las materias que se debían de enseñar en la cátedra de la Casa de la Contratación. Según la Cédula de 1552, estas materias eran:

⁴ Véase Teixeira da Mota (1969).

⁵ *Ibid.*

⁶ Véase Navarro Brotóns *et al.* (1999).

Introducción a la “Esfera”; procedimientos y reglas (“regimientos”) para calcular la latitud a partir de la altura del Sol y del Polo; el uso de la carta de navegar; la fabricación y uso de instrumentos, particularmente: la brújula o “aguja de marear”, el astrolabio, el cuadrante, la ballestilla; el conocimiento y modo de estimar la declinación magnética; uso de relojes diurnos y nocturnos; lunaciones y reglas para la previsión de las mareas.⁷

2. Las contribuciones de Pedro Nunes al desarrollo de la cosmografía y el arte de navegar

El matemático y cosmógrafo Pedro Nunes sometió a revisión, en el segundo cuarto del siglo XVI los procedimientos, instrumentos y técnicas del arte de navegar, planteando cuestiones y soluciones, que aunque en algunos casos excedían las posibilidades de los pilotos y tenían escasa relevancia práctica, fueron de gran transcendencia para el desarrollo futuro de este arte. En particular, queremos recordar aquí, de las contribuciones de Nunes, primero su descubrimiento de que la curva que describe el navío si navega con el rumbo constante no es un círculo máximo, sino una línea curva irregular que se aproxima indefinidamente al Polo. Curva que Snell llamaría loxodrómica. Segundo, la invención del “nonio”, que en la descripción de Nunes consistía en trazar en un instrumento como el cuadrante 44 arcos de círculo homocéntricos. Seguidamente, se dividían estos arcos en escalas sucesivas de 90, 89, 88, etc., hasta 46 divisiones. Con ello se conseguiría medir la altura de un astro en fracciones decimales de grado (minutos y segundos). En tercer lugar, el procedimiento ideado por Nunes para hallar la latitud empleando una sola altura extrameridiana del Sol, o mediante dos alturas extrameridianas del Sol con el empleo de una aguja magnética, un astrolabio y un globo semejante a una esfera armilar, además de las tablas de declinación del Sol. En cuarto lugar, la descripción y, al parecer, invención por Nunes del anillo náutico. Nunes también evaluó la precisión de los distintos instrumentos habitualmente empleados, y recomendó que la ballestilla se empleara para calcular el ángulo entre dos astros, pero no para hallar la altura del Sol. Asimismo, revisó los regimientos de la altura del Sol y de la Polar. Sobre el segundo, indicó que los índices deberían calcularse para cada latitud.⁸

⁷ Real Cédula, 4 de diciembre de 1552, editada por Pulido (1950), pp.72 ss.

⁸ Véase Albuquerque (1974, 75, 76); Randles (1990) y el artículo Pedro Nunes en *Grande Enciclopédia Portuguesa e Brasileira*.

Sobre las tablas para calcular la declinación del Sol, la aportación de Nunes fue usar el valor, más exacto, de $23^{\circ} 30'$ para la oblicuidad de la eclíptica, basándose probablemente en Regiomontano. Hasta entonces, todos los autores seguían utilizando el valor de $23^{\circ} 33'$ que se encuentra en las Tablas de Zacut. Además, Nuñez, rompió con la práctica habitual de presentar solamente tablas para grupos de cuatro años de la declinación del Sol, sin que se indicara para qué años se habían calculado. En lugar de ello, presentó tablas de la longitud del Sol, y una tabla de declinaciones para cada grado de la eclíptica, como figuraba en el *Almanaque* de Zacut. Asimismo, y siguiendo también a Zacut, proporcionó el valor de la corrección a introducir para años diferentes a los de sus tablas.⁹ Con todo, los valores para la longitud del Sol los tomó de Stöffler.¹⁰ Recordaré aquí, que todas las tablas de declinaciones solares conocidas de la náutica portuguesa y española, comenzando por las llamadas *Guias* de Munich y de Evora, se calcularon a partir del Almanaque de Zacut, como ya demostró el profesor Luis de Albuquerque. A mediados del siglo XVI, Pedro Medina, en sus manuales de arte de navegar se limitó a reproducir las tablas publicadas por Martín Fernández de Enciso en la edición de 1530 de su *Suma de geographia (y)... arte de marear*, calculadas para el periodo 1529-1532, y reproducidas anteriormente por Francisco Falero en su tratado de 1535.¹¹ Martín Cortés, en cambio, proporcionó una tabla para un solo año, basada en Nunes, y calculada para 1545; ésta tabla está acompañada de otra tabla de correcciones para años sucesivos y de una tercera para la declinación de los grados de la eclíptica. Cortés usó también $23^{\circ} 30'$ para la oblicuidad de la eclíptica.¹²

3. La reforma del Consejo de Indias y los orígenes de la "Enmienda" de los instrumentos, regimientos y cartas de marear. La anexión de Portugal por España y sus consecuencias para la cosmografía y la náutica hispano-portuguesa. La creación de la Academia de Matemáticas de Madrid

⁹ Véase Pedro Nunes, *Tratado da sphaera com a Theorica do Sol e da Lua*, Lisboa, 1537, reeditado en P. Nunes, *Obras* (Lisboa, 1940), vol.I. Las tablas de la longitud del Sol, en pp.234-237, y la tabla de declinaciones, en p.233.

¹⁰ Como ya señaló Roche (1981). Chabás y Goldstein (2000) afirman que Nunes derivó sus datos del movimiento del Sol de Zacut, aunque indican que hay una diferencia sistemática de $3'$ entre Zacuto y Nunes en la longitud del Sol para la que no tienen explicación satisfactoria. En la reunión de Obidos, el profesor Chabás dijo que había encontrado que la fuente de Nunes no era Zacuto sino Sctöffler, lo que hemos podido verificar consultando las efemérides de este autor de 1526.

¹¹ Véase Pedro Medina, *Arte de navegar* (Valladolid, 1545); Martín Fernández de Enciso, *Suma de geographia* (Sevilla, 1519); Francisco Falero, *Tratado del Esphera y del arte de marear* (Sevilla, 1535).

¹² Martín Cortés, *Breve compendio de la sphaera y de la arte de navegar* (Sevilla, 1551).

Como ha señalado Roche, ningún autor de obras de náutica, ni siquiera Nunes, hizo las observaciones necesarias para calcular la longitud del Sol y la oblicuidad de la eclíptica.¹³ Aunque no es cierto que el primero en hacerlo fuese Harriot, como pretende Roche. Como veremos, casi contemporáneamente a Harriot, si bien un poco antes, un grupo de cosmógrafos españoles emprendió esta tarea, en el contexto de un amplio programa de revisión o "enmienda" de los instrumentos, cartas y tablas de navegar.¹⁴

Ya hemos adelantado anteriormente que en 1571 el Consejo de Indias, en el marco de la reforma iniciada por su presidente Juan de Ovando, creó el cargo de cosmógrafo-cronista mayor de Indias. Ovando nombró para este cargo a su ayudante, Juan de López de Velasco, quién trató de desarrollar el programa de Ovando de llevar a cabo una descripción geográfica rigurosa y precisa tanto de España como del Nuevo Mundo, que incluía la determinación de las coordenadas geográficas de los lugares por métodos astronómicos. Para ello, Velasco envió instrucciones detalladas a distintos funcionarios de la Corona sobre cómo determinar tanto la latitud como la longitud geográfica. Para la longitud, recomendaba especialmente la observación de eclipses lunares, y así envió instrucciones para observar eclipses que tendrían lugar en 1577, 1578, 1581, 1582 y 1584. El eclipse de 1577 fue observado en Madrid por el propio López de Velasco y en otras localidades de España (Toledo, Valladolid, Valencia, Sevilla, etc.) por Juanelo Turriano, Jerónimo Muñoz, Rodrigo Zamorano y otros astrónomos.¹⁵

La enmienda de los instrumentos y cartas de navegar era una necesidad sentida en el Consejo de Indias desde los años de la creación del puesto de cosmógrafo-cronista mayor. Ya en 1574, el Secretario del Consejo entregó, en presencia de López de Velasco, siete nuevos instrumentos para la navegación al cosmógrafo de la armada de los galeones Alonso Alvarez de Toledo para que comprobara su utilidad y precisión. Sobre estos instrumentos, carecemos de más noticias.¹⁶

Pocos años después, cuando el rey Felipe II se encontraba en Lisboa, requirió información al Consejo de Indias sobre el contenido de una Relación escrita por Juan de Herrera. En este documento se disponía que el valenciano Jaime Juan, calificado de experto en astronomía y matemáticas, realizara una serie de estimaciones de latitudes, declinaciones magnéticas y observaciones de eclipses en diversos lugares de

¹³ Roche (1981).

¹⁴ Sobre la "Enmienda", véase Vicente, Esteban (1991).

¹⁵ Véase Schäfer (1935-1947); Goodman (1990). Véase en Edwards (1969) una traducción al inglés de las instrucciones de López de Velasco para observar los eclipses en el Nuevo Mundo.

¹⁶ Véase Vicente, Esteban (1991), p.403 y ss.

Nueva España y en Filipinas. Además, se debería ocupar de cartografiar las tierras “por donde anduviere”. Asimismo, debería utilizar dos nuevos instrumentos, además de los habitualmente utilizados. Estos instrumentos, que no se describen, servirían: uno para saber la altura del polo, en la mar y en tierra a cualquier hora del día, además de determinar la hora, la meridiana y la declinación magnética; otro, para calcular lo “que están apartados del meridiano del lugar donde partieron con su bajel”, es decir, para evaluar la longitud geográfica.¹⁷

Esta misión encomendada a Jaime Juan se planeó en las mismas fechas en las que se fundó la Academia de Matemáticas de Madrid, por iniciativa del arquitecto, ingeniero y “Aposentador (mayor) de Palacio” Juan de Herrera. En el texto que Herrera redactó sobre los objetivos de la Academia insistió en la falta, en los reinos de la monarquía hispánica, de buenos matemáticos; la Academia se orientaría a formar aritméticos teóricos y prácticos, geómetras, astrónomos, músicos con formación teórica, cosmógrafos, pilotos, arquitectos y fortificadores, ingenieros y maquinistas, artilleros e instrumentistas, fontaneros y niveladores de aguas, expertos en relojes, expertos perspectiva y escultores y pintores formados en esta última materia. También se orientaría a la formación en matemáticas de lo hijos de los nobles de la Corte.¹⁸

El proyecto de crear una Academia de Matemáticas de Herrera se consolidó tras la anexión de Portugal. Se envió a este país a Pedro Amabrosio de Ondérez, con formación en lenguas clásicas, donde permaneció (en Portugal) dos años estudiando matemáticas e iniciando la traducción al castellano de los textos de esta materia que Herrera consideraba más necesarios.

Para la dirección de la Academia se eligió a João Baptista Lavanha, un cosmógrafo de origen noble que había realizado estudios en Roma. Así, en diciembre de 1582 se nombró a Lavanha por Real Cédula: “para que se ocupe en nuestra corte y donde se le ordenare en cosas de Cosmografía, Geografía y Topografía, y en leer matemáticas...”. Al propio tiempo se nombró a Pedro Ambrosio de Ondérez ayudante de Lavanha y se le encargó la traducción de textos científicos. También se nombró al portugués Luis Jorge de Barbuda como “maestro de hacer cartas y cosmografía”, aunque no sabemos que vinculación precisa tenía este puesto con la Academia. Jorge de Barbuda, como veremos, participó en la “Enmienda” auxiliando a Ondérez y a García de Céspedes, con el que terminaría enfrentándose.¹⁹

¹⁷ *Ibid.*

¹⁸ Véase Herrera (1995).

¹⁹ Véase Vicente, Esteban (1991). Sobre Lavanha, véase Sanchez Pérez (1934) y Teixeira da Mota (1987a).

De las enseñanzas de Lavanha y Ondérez en la Academia se conservan dos manuscritos. Uno de ellos es un *Tratado del arte de navegar* incompleto y copiado por un alumno, al parecer italiano, llamado Camilo Madea, en 1588.²⁰ Entre otras cuestiones, Lavanha se ocupa de la determinación de la declinación del Sol y su altura mediante instrumentos. Propone $23^{\circ} 30'$ como valor de la oblicuidad de la eclíptica y confiesa francamente que no ha hecho observaciones para verificar este parámetro, si bien explica cuáles deberían hacerse y cómo. Explica también como se calcula la declinación conociendo la longitud del Sol y propone tablas de la longitud del Sol cuadrianales, con las correcciones para años sucesivos, acompañadas de una tabla de declinaciones de los grados de la eclíptica, como hacia Nunes. Como veremos, en su *Regimiento de Navegación* Lavanha optó, en cambio, por el proceder más frecuente de presentar únicamente tablas de declinación, si bien, en un trabajo posterior volvió a la forma de Nunes. Sobre los instrumentos para medir la altura del Sol, Lavanha describe el anillo náutico de Nuñez, que lo presenta como alternativa al astrolabio; considera además, que el cuadrante es “muy bueno” para tomar la altura de los astros, y que es capaz de “mayores grados que el astrolabio”, es decir, de escalas más precisas. No obstante, señala las diferencias entre el cuadrante náutico y el instrumento que se usa en tierra firme, tales como la disposición de las pínulas. Para poder obtener la altura con precisión de minutos y segundos, propone usar la técnica de trazado de escalas propuesta por Nunes, aplicándola tanto a un cuadrante como a los cuadrantes del astrolabio. También, siguiendo a Nunes, describe el “instrumento de sombras” para calcular la altura del Sol en tierra. Al ocuparse del cálculo de la latitud mediante el recurso a la Polar, Lavanha señala que la ballestilla no es adecuada para estimar la altura de esta estrella, siendo preferible el cuadrante. Proporciona, como valor para la distancia de la polar al polo, la cifra derivada de Copérnico, a saber, $3^{\circ} 30'$. Lavanha también se ocupa en este texto de las proyecciones cartográficas y del trazado de la carta de navegar.

De Ondérez se conserva un manuscrito titulado “Uso de los Globos leydo en Madrid el año 1592”, es decir, cuando ya era Cosmógrafo mayor.²¹ Como el título del manuscrito sugiere, se trata del uso de globos celestes y terrestres para hallar el lugar del Sol, la altura del polo, la declinación de los astros, los arcos diurnos y nocturnos, las horas del día y de la noche, distancias cenitales de planetas y estrellas, y las distancias entre lugares (mediante el globo terrestre), entre otros “usos”.

²⁰ Ms. conservado en la Biblioteca de la Universidad de Salamanca, Ms.2317. Agradezco a M.I. Vicente Maroto el que me haya facilitado una copia de este manuscrito.

²¹ Biblioteca de la Universidad de Salamanca, Ms. 2317.

En 1591 Lavanha se trasladó a Lisboa a ocupar el puesto de Cosmógrafo mayor (hasta entonces ocupado por Tomas de Orta) y para impartir lecciones de matemáticas y cosmografía a los pilotos y hombres de mar. Ondérez continuó trabajando en la Academia y fue nombrado Cosmógrafo mayor del Consejo de Indias, separándose este cargo del de Cronista del Consejo.

En 1591 la reforma de los instrumentos, tablas y cartas quedaba pendiente. Del resultado de la expedición de Jaime Juan, que murió en Filipinas sin concluir los trabajos proyectados, sólo se conocen los que llevó a cabo sobre el eclipse de luna de 1584. Estos trabajos los realizó en colaboración con Francisco Domínguez, cosmógrafo real de Nueva España, el artillero Cristóbal Gudiel y el doctor Pedro Farfán, jurista y alto funcionario en Nueva España. Estos autores determinaron la latitud de la ciudad de México con error de minutos, así como la diferencia de longitud entre México y Sevilla.²²

Es interesante señalar que Jaime Juan era discípulo de Jerónimo Muñoz, uno de los matemáticos más destacados de la España del siglo XVI. Juan lo cita como "actualmente profesor en Salamanca", pero pudo haber estudiado con él en Valencia.²³ Tanto en Valencia como en Salamanca, Muñoz explicaba, como catedrático de matemáticas, además de astronomía esférica, teoría de los planetas y uso de tablas, geografía y cartografía y los aspectos más matemáticos del arte de navegar. Varios destacados cosmógrafos españoles fueron discípulos suyos y el rey insistió constantemente acerca de la que Universidad de Salamanca se ocupara también de la formación de buenos cosmógrafos.²⁴

En 1591, Ondérez recibió una Instrucción redactada por Herrera para que procediera a la realización de la Enmienda. Dos años después, Ondérez envió un Memorial al Consejo de Indias que recogía los resultados de su trabajo y exponía sus propuestas de solución a las cuestiones planteadas. Por una parte, Ondérez, en el Memorial, aconsejaba modificar los astrolabios, haciéndolos más grandes y graduándolos en 1/2 grado, o sustituirlos por cuadrantes, también con mejores escalas. Las ballestillas deberían ser sustituidas por otros instrumentos o modificar y mejorar las graduaciones de las mismas.

²² Véase Rodríguez Sala (1998). Jaime Juan obtuvo 19° 13' de latitud desde la Casa Real. La actuales medidas de la latitud del centro de México es 19° 25' 59"N. El centro de la ciudad de Mixquic estaba situado a 19° 13' 29" y Xochimilco a 19° 15' 44". En el siglo siguiente Diego Rodríguez evaluó la latitud de México en 19° 15'. Para la diferencia de longitud entre Sevilla y México, Jaime Juan halló 7 horas, 2 minutos y 52 segundos y el valor actual es 6 horas, 12 minutos y 36 segundos.

²³ Véase la edición y transcripción del manuscrito de Jaime Juan sobre el eclipse de Luna de 1584 en Rodríguez Sala (1998). La referencia a Muñoz en f.13v.

²⁴ Véase Navarro, Rodríguez (1998) and Navarro Brotóns (1992, 1995) y a aparecer.

Afirmaba también que las tablas de las declinaciones solares, incluso las actualizadas, podían conducir de un error de hasta $1/2$ grado. E indicaba que debería construirse tablas para los meridianos de partida y de llegada.

También señalaba que en las agujas de marear se tuviera en cuenta el “resguardo”, es decir, la variación en la declinación entre los distintos lugares por donde se navegare. En cuanto a la carta de marear, señaló un error general y otros particulares. El error general se derivaba del ya antiguo litigio entre la monarquía hispánica y la portuguesa sobre la demarcación de los territorios correspondientes a cada una de ellas. Según Ondériz, los portugueses habían ampliado de 180 a 200° la longitud abarcada por sus posesiones. Así, entre Lisboa y el Cabo de Nueva Esperanza, que hay 40° (dice Ondériz), los portugueses pusieron 35° ; del meridiano del cabo de Nueva Esperanza al de Chalul hay 66° , pero ellos pusieron 55° ; y de Chalul a las Molucas hay 46° y algo más y los redujeron a 42° .

Luego señaló 24 fallos particulares.

Sobre los instrumentos, propuso, construir un astrolabio, que sirviera de patrón, de mayor diámetro de los habituales, dividido en $1/2$ grados. También, una ballestilla graduada por las tablas de senos. Dos agujas de marear, de un solo acero ambas, una con el “resguardo” (la declinación magnética) corregido y otra sin corregir. Sobre los mapas, Ondériz señaló la necesidad de elaborar un nuevo “Padrón” (Mapa Patrón) de la carrera de Indias y patrones particulares.²⁵

Ondériz falleció en 1596 sin concluir los trabajos de la Enmienda, encomendándose la prosecución de los trabajos a Andrés García de Céspedes, que fue nombrado Cosmógrafo Mayor de Indias. Nacido en la villa de Gabanes (Burgos), García de Céspedes realizó estudios universitarios en Valladolid o, mas probablemente, en Salamanca. Se ordenó sacerdote. Ya en 1577 colaboró en las observaciones de eclipses encomendadas por López de Velasco. Es posible que fuera, durante algún tiempo, profesor de matemáticas en la Academia de artillería de Burgos. El tiro de proyectiles es uno de los temas tratados en su *Libro de los Instrumentos nuevos de Geometria* (1506). Tras la anexión de Portugal por la corona española, García de Céspedes marchó a este país al servicio del Archiduque Alberto, gobernador de Portugal entre 1583 y 1593. Este último año regresó a Madrid con el Archiduque. A su regreso a Madrid se le encargó del mantenimiento de la colección real de los relojes construidos por Juanelo Turriano, y también actuó de suplente en la cátedra de matemáticas de la Academia. En 1596, ya con el cargo de Cosmógrafo mayor de Indias (cargo que se había desdoblado de nuevo) se

²⁵ Vicente, Esteban (1994), pp.407 y ss.

trasladó a Sevilla a reanudar y finalizar la enmienda iniciada por Ondérez. Contaría con la ayuda de Luis Jorge de Barbuda, el cosmógrafo de hacer cartas de la Casa de la contratación, el matemático napolitano Domingo de Villaroel, y el catedrático de la Casa Rodrigo Zamorano. García de Céspedes llevó a cabo su tarea en Sevilla entre finales de 1596 y mediados de 1598 y preparó su *Regimiento de navegacion*, que recogía los resultados de sus trabajos en Portugal y en España. El rey dio orden para que se imprimiera. La obra, sin embargo, no se llegó a imprimir hasta 1606, debido principalmente, al parecer, a cuestiones económicas.²⁶

4. Los tratados de arte de navegar de Rodrigo Zamorano y Juan Bautista Lavanha y la revisión de los regimientos

Antes de exponer algunos de resultados de mi estudio de la obra de García de Céspedes, quiero comentar las revisiones de los “regimientos” llevadas a cabo por Rodrigo Zamorano y João Baptista Lavanha, en los años 1580 y 1590, para evaluar mejor y comparar la tarea llevada a cabo por García de Céspedes.

Zamorano publicó su *Compendio de la arte de navegar* en Sevilla en 1581. Esta obra tuvo una amplia difusión; se reeditó 4 veces en castellano, y fue traducida al flamenco y al inglés, siendo esta última versión publicada como apéndice a *Certaine errors of navigation* de Edward Wright.²⁷ Para el regimiento del Sol, Zamorano expuso tablas cuadrianales de la declinación, para los años 1577-1580. Adoptó como valor de la oblicuidad de la eclíptica $23^{\circ} 28'$, remitiendo, sobre este valor, a Peurbach, Regiomontano, Werner, Copérnico, y Reinhold, aunque dice que verificó su validez en Sevilla con observaciones propias. Asimismo, Zamorano consideró que las *Tablas Alfonsíes* habían perdido su validez, y calculó las declinaciones solares a partir de las *Ephemerides* de Stadio, basadas en las *Tablas Prutenicas*. En la tabla adjunta (Tabla 1) pueden verse los valores de la declinación que da Zamorano, que coinciden con los deducidos de las *Ephemerides* de Stadio, mientras que discrepan de manera clara de los deducidos de las *Ephemerides* de Leovitius, obtenidas a partir de las *Tablas Alfonsíes*.²⁸ Los errores en la declinación usando unas u otras *Ephemerides* son de orden similar.

²⁶ Vicente, Esteban (1994).

²⁷ Sobre las ediciones del *Compendio* de Zamorano, véase Navarro *et al.* (1999). Sobre su difusión en Inglaterra, véase Waters (1958).

²⁸ J. Stadius, *Ephemerides...secudum Antwerpiae longitudinem, ab anno 1554 usque ad annum 1606* (Colonia, 1581).

Zamorano también propuso una revisión del regimiento del Norte (de la polar) y aportó, como valor de la distancia de esta estrella al Polo la cifra $3^{\circ} 8'$, diciendo que sus observaciones de esta distancia coincidían con la encontrada por Gemma Frisius y “otros matemáticos”. Uno de esos “otros matemáticos” que Zamorano no cita fue el médico sevillano Simón de Tovar, quién en 1563 determinó, al parecer, con un cuadrante, la distancia de la polar, verificando la validez de los datos de Gemma Frisius. Tovar también estuvo implicado en la *Enmienda* de los instrumentos y publicó un trabajo sobre el regimiento de la polar (1595). En este trabajo, Tovar señaló que las consideraciones de Pedro Nunes de que los índices del regimiento de la polar variaban con la latitud, aunque ciertas, carecían de importancia práctica.²⁹

Lavanha publicó su *Regimiento Náutico* en Lisboa en 1595. En la dedicatoria al rey, Lavanha dice que esta obra es un extracto de otra que le había presentado en El Escorial: “Depois que vim a esta Cidade por mandado de V.M., entendi com a communicacao dos Navegantes ser necessario tirar algumas cousas de outro meu Regimiento, que V. Magestade vio no Escorial, por serem mas especulativas do que convem a Practica...”.³⁰ El *Regimiento* de Lavanha contiene dos prólogos, uno dirigido “ao speculativo Mathematico”, en el que reconoce que las tablas de declinación del Sol, que presenta en su obra, estrictamente sólo servirían para la latitud de Lisboa y para cuatro años; también reconoce, sobre el catálogo estelar que presenta con las declinaciones de 20 estrellas, que las declinaciones de las estrellas variaban, etc. Pero como las tablas están destinadas a los navegantes, esos pequeños errores, en opinión de Lavanha, carecen de importancia práctica. Por su parte, “Al práctico Navegante” le dice que atienda con cuidado a los regimientos; que para la altura de la Polar u otra estrella no use la ballestilla, que es fuente de errores (entre otras cosas por la dificultad de situar el Horizonte), sino el cuadrante; que se usen astrolabios de grosura constante para la altura del Sol; y finalmente, que se usen las agujas de marear con los “ferros debaixo da flor de Lis” (los hierros debajo de la flor de Lis) y no apartados de ella dos tercios de cuarta para el Nordeste (dado que la declinación es variable).

Lavanha presenta, como Zamorano, tablas de declinación del Sol para cuatro años (1594-1598), calculadas también a partir de las *Ephemerides* de Stadio. Como puede verse en la tabla adjunta (Tabla 2), los valores de la declinación deducidos de las *Ephemerides* de Stadio y los que da Lavanha se corresponden casi perfectamente.³¹ Si añadimos cir.2' a la lon-

²⁹ Simon de Tovar, *Examen i censura...del modo de averiguar las Alturas de las tierras por la altura de la Estrella del Norte...* (Sevilla, 1595). Véase Albuquerque (1975), p.110.

³⁰ Lavanha, *Regimiento*.

³¹ Deducidas usando la fórmula $\sin \delta = \sin \lambda \cdot \sin \epsilon$.

gitud del Sol que da Stadio, para tener en cuenta la diferencia de longitud geográfica entre Amberes y Lisboa, el ajuste es perfecto. Si usamos, en cambio, las *Ephemerides* de Leovitiuus, las discrepancias son enormes. Hemos calculado los errores de las declinaciones que da Lavanha para algunos días: llegan a ser de 9' y 10' de arco, es decir, similares a los de la tabla de Zamorano.

Como ya expliqué Luis de Albuquerque, la obra portuguesa más antigua de náutica en la que se encuentra un capítulo dedicado enteramente a la observación de las estrellas es el *Regimiento Náutico* de Lavanha.³² Lavanha presenta una relación de 24 estrellas, de las que proporciona las declinaciones y la magnitud aparente. Estas estrellas estaban situadas en las proximidades del ecuador celeste: sólo para dos de ellas la declinación excede los 30°. Todas ellas figuran en el catálogo del *Almagesto* de Ptolomeo.³³ Según hemos verificado, las declinaciones de Lavanha se pueden deducir con bastante aproximación de las coordenadas estelares de Ptolomeo, añadiendo a la longitud que proporciona Ptolomeo una cantidad correspondiente a la precesión de los equinoccios.³⁴

El catálogo proporcionado por Lavanha estaba destinado a servir de base del regimiento titulado "Como se saberá a altura do Pólo Norte por algumas estrelas fixas".

El Regimiento de Navegacion (1606) de Andres Garcia de Céspedes y la enmienda de los instrumentos, regimientos y cartas de navegar.

El *Regimiento de navegación* está compuesto de dos partes. La primera se ocupa de la revisión de los regimientos, tablas e instrumentos y la segunda de de la construcción de las cartas de navegar particulares y del mapa padron universal, de acuerdo con todos los datos conocidos hasta la época.

Como todos los tratados de arte navegar, comienza con una muy breve introducción a la esfera. Sigue la revisión del regimiento del Sol, que le

³² Albuquerque (1975). Este trabajo reproduce el catálogo de Lavanha.

³³ Ptol., *Almagesto*, 7.5.

³⁴ Empleando la fórmula $\sin \delta = \sin \beta \cdot \cos \epsilon + \cos \beta \cdot \sin \epsilon \cdot \sin \lambda$. El valor que Lavanha empleó para la precesión de los equinoccios debió ser de unos 53,30"/año, similar al utilizado por Stadio y cercano al de Copérnico. Con este valor, aplicado a las longitudes de Ptolomeo, resultan valores de la declinación muy próximos a los que da Lavanha, suponiendo que el catálogo lo elaboró hacia 1593. Ejemplos, usando las denominaciones de Lavanha: Olho do Touro, δ (Lavanha): 15;54; deducida:15;56; Hombro dereito de Oriao, δ (Lavanha): 6;20; deducida: 6;20; Pee esquerdo de Oriao, δ (Lavanha): 9;9; deducida: 9;12; Can Mayor: δ (Lavanha): 15;55; deducida:15;57; Cabeça de Andromeda, δ (Lavanha): 27;20; deducida: 27;24. Aguilha, δ (Lavanha): 7;36; deducida: 7;38.

lleva a calcular de nuevo los parámetros de la excéntrica solar y a nuevas tablas de la longitud y declinación del Sol. Después, se describen distintos instrumentos para determinar la altura del Sol y de las estrellas. La obra continua con la revisión del regimiento de la polar y de la cruz del Sur. Luego estudia la cuestión de la declinación magnética; las mareas, la latitud de la luna, las epactas, las conjunciones, la letra dominical y las fiestas movibles, todo ello acompañado de las tablas correspondientes. Después, revisa de nuevo el regimiento de la polar y propone nuevos índices, de acuerdo con sus propias observaciones. Describe varios instrumentos para el regimiento de la polar y para la declinación de la aguja. Se ocupa de la carta de marear, de cómo se “hecha el punto”, y cómo se fabrican los troncos de leguas. Discute la cuestión de la determinación de la longitud en el mar y acaba esta parte con observaciones para probar la ausencia o irrelevancia práctica de la refracción de los astros.

En este trabajo, nos centraremos principalmente en la revisión del regimiento del Sol y de la polar, y los instrumentos utilizados o descritos por García de Céspedes.

Según García de Céspedes, las tablas de la declinación del Sol en que se basaban los regimientos usados por los pilotos estaban erradas por tres causas:

1º Por usar un valor erróneo de la oblicuidad de la eclíptica de 23;30. Según García de Céspedes el valor correcto, para su época, era de 23;28, aunque reconoce que esto era poco relevante. Segundo, por que las tablas se basan en el movimiento del Sol que se deduce de las *Tablas Alfonsíes*, “el qual no concuerda con las observaciones que en este tiempo se han hecho”, ni con las suyas propias ni con las de otros autores. Por otra parte, las tablas que siguen la doctrina de Copérnico, en su opinión, conducen a errores aun mayores que las Alfonsíes. La tercera causa es que las tablas sólo sirven para un grupo de cuatro años, además, de estar confeccionadas para un meridiano determinado.

Seguidamente, García de Céspedes expone las observaciones que se realizaron en Lisboa para confeccionar nuevas tablas. Comienza describiendo algunos de los instrumentos utilizados, particularmente un cuadrante de ocho palmos de diámetro (unos 184 cm.; un palmo = cir. 23 cm.), forrado con latón y con una escala graduada en minutos. El cuadrante de sustentaba en una columna, y esta, a su vez, en un pie.³⁵

Seguidamente, Céspedes detalla algunas de las observaciones realizadas en Lisboa con un cuadrante de su propia construcción y otras realizadas en Madrid y en otros lugares, por él mismo o por diversos colaboradores.

³⁵ García de Céspedes, *Regimiento*, f. 8v. y ss.

Comienza con las observaciones para determinar la oblicuidad de la eclíptica.³⁶ Dice que observó en Lisboa en 1587 la mayor altura meridiana del Sol en el solsticio estival, y obtuvo $74^{\circ} 48'$.³⁷

El solsticio estival tuvo lugar el día 22 de Junio a las 6 h 34'. La máxima altura del Sol real fue de $74^{\circ} 46' 12''$; para esa altura la refracción media es de cir. $16''$ y la paralaje del Sol $2''$,³¹ tomando como paralaje horizontal medio del Sol el valor actual de $8''$,⁷⁹⁴. Por lo tanto, la altura aparente era $74;46,26$; así, el error cometido por Céspedes en su observación fue de algo más de un minuto. García de Céspedes no considera la refracción, como luego explicaremos. Pero sí que añade el paralaje del Sol (valor muy erróneo, como era habitual en la época), que estima para ese día y altura del Sol en $47''$. Con ello la altura real del Sol, según Céspedes, sería $74;48,47$.

El día del solsticio de invierno (que tuvo lugar el 22 de diciembre de 1587 a las 7h 6') dice que determinó la máxima altura del Sol en $27^{\circ} 50'$, una cifra aceptable, ya que el valor actual estimado (sin refracción) es de $27^{\circ} 47' 24''$ y en este caso la refracción no es despreciable y debe tenerse en cuenta: para $27^{\circ} 47' 24''$ es aprox. de $1' 50''$, que deben restarse del valor ofrecido por García de Céspedes; consecuentemente, la altura verdadera encontrada por éste sería, si hubiera tenido en cuenta la refracción, $27^{\circ} 48' 10''$. Es decir, con error inferir a un minuto. García de Céspedes añade la paralaje del Sol, que estima en $2' 37''$, con lo que introduce una nueva fuente de error.

Como conclusión de sus cálculos obtiene como máxima declinación del sol $23^{\circ} 28' 5''$.³⁸

Dice que el mismo valor fue encontrado por Bartolomé de la Gasca en Valladolid, con un gnomon de 120 pies de alto; por "Jusepe Sobrino", capellán del Rey, con un cuadrante similar al suyo; Pedro de Retes, "buen Matemático en Las Indias, en Santa Fe de Bogotá". Y no deja de señalar que, dado que en esta ciudad la menor altura del Sol sobre el horizonte es de $63^{\circ} 2'$, "donde no puede haber refracción de los rayos solares", esto confirmaría la ausencia o irrelevancia de la refracción.

³⁶ *Regimiento*, fol.10 r y ss.

³⁷ Según mis estimaciones con el programa EZC Cosmos (Astroft, Inc. Versión 3.000.006), la máxima altura del Sol correspondería al día 21 de Junio, a las 12 h. y sería de $74^{\circ} 46' 12''$. Dado que para esa altura la refracción media es de cir. $16''$ y la paralaje del Sol de $2''$, 31, tomando como paralaje horizontal medio del Sol el valor actual de $8''$,⁷⁹⁴, el error cometido es de algo más de un minuto.

³⁸ La estimación actual de la paralaje solar horizontal medio es de $8''$,⁷⁹⁴, según W.M. Smart, *Textbook on Spherical Astronomy*, Cambridge, Cambridge University Press, 1997, p.420. Hasta Kepler, todos aceptaban las cifras que había dado Ptolomeo, incluido Tycho Brahe, de cir. $3'$ (Ptolomeo: $2' 52''$). La oblicuidad de la eclíptica para 1587 era: $23^{\circ} 30' 21,75''$. Aplicamos la fórmula habitual $23^{\circ} 27' 8'',26 - 0'',4685.T$. Véase Smart, *op.cit.*, p.420.

Sobre la refracción, el cosmógrafo castellano critica a Antonio Magini y a Tycho Brahe y se apoya en Christoph Rothman, quién afirmaba que no había ninguna discontinuidad entre la atmósfera terrestre y el aire cósmico, y que, por lo tanto no había refracción atmosférica, salvo cerca del horizonte.³⁹ García de Céspedes considera en su obra que la refracción, caso de existir, la causarían los vapores diseminados por la atmósfera, que pueden estar en cualquier parte y, por lo tanto, sería prácticamente imposible calcular la refracción, aunque existiera.⁴⁰ Esta discusión es interesante ya que sugiere que García de Céspedes tenía ideas cosmológicas similares a las de Jerónimo Muñoz, con el que probablemente estudió en Salamanca, y a las de Christoph Rothman, tanto en lo relativo a la inexistencia de las esferas celestes (ya que estas producirían refracciones) como a la inexistencia de la esfera de fuego, de modo que el aire impregnaba todo el cosmos, desde la tierra a sus confines.

Seguidamente, explica como se calculan las declinaciones de los puntos de la eclíptica, conociendo el valor máximo (es decir, mediante la fórmula $\text{sen } \delta = \text{sen } \lambda \cdot \text{sen } \epsilon$) y proporciona una tabla.

Dado que es necesario conocer la longitud del Sol para saber su declinación y como, en opinión de García Céspedes, ninguna de las tablas circulantes era satisfactoria, este consideró necesario calcular de nuevo los parámetros de la excéntrica solar y las tablas del movimiento del Sol, todo lo cual lo explica a continuación.

Describe varios grupos de observaciones de la altura del Sol realizadas, unas por Sobrino y otras por él mismo, en Lisboa. Así, el día del equinoccio de Otoño, 23 de Septiembre de 1587, (el equinoccio tuvo lugar a las 17:43), Sobrino observó la altura del Sol en el meridiano en $51^{\circ} 22' 50''$ (la altura real, sin refracción, era de $51^{\circ} 22' 12''$; la refracción media para esta altura es de $51^{\circ} 47,7''$; por lo tanto, la altura aparente resulta sería de : $51^{\circ} 21' 25''$: el error de observación es inferior a dos minutos). García de Céspedes añade la paralaje, que estima en 51;24,41, y con ello calcula la declinación del Sol. Ello le permite calcular la longitud del Sol, que estima en 29;50,2 de Virgo.

Otras Observaciones de Sobrino:

El 7 de Noviembre Sobrino observó el Sol en 35;4,16 (estimación actual: 35;2,24; refracción media: $1^{\circ} 23''$; altura aparente: 35;1,1; error de observación inferior a 5').

El 19 de Marzo: altura del Sol: 51;20 (actual: 50;55,15; refracción media, $46''$. Altura aparente: 50;11,15. Error, inferior a 2').

³⁹ Véase Goldstein, Barker (1995).

⁴⁰ Véase *Regimiento*, fol.11r y fol. 114r, donde García de Céspedes parece suscribir una teoría de la visión como emisión de rayos visuales.

Con estas tres observaciones, y calculando la declinación del Sol para cada una de ellas y su posición en la eclíptica, García de Céspedes obtuvo la posición del Auge del Sol: 6° 23' de Cáncer, y la excentricidad: 3312:100.000.

Seguidamente, describe sus propias observaciones:

Fecha: 7 de Noviembre de 1589. Altura del Sol Observada: 34;55 (actual: 34;53,24; refracción media: 1'23". Altura aparente: 33;30,24. Error inferior a 2').

Fecha: 4 de Febrero de 1590: Altura del Sol Observada: 35;6,30 (actual: 35;3,36. Refracción media: 1' 23". Altura aparente: 35;4,59. Error inferior a 2').

Fecha: 20 de Marzo: Altura del Sol Observada: 51;32,30 (actual: 51;7,12. Refracción media: 47". Error inferior a 26').

Sobre esta última observación, García de Céspedes dice que el Sol entró en Aries el 20 de Marzo, a las 10h 30' p.m. A esta hora (hora local que corresponde a 11h 6' p.m., Greenwich) la longitud del Sol era de 0.016, es decir: 0;0,57,36. Pero, según los datos del propio Céspedes, el Sol debería estar en 1° de Aries, lo que sugiere que hay un error en la transcripción de los datos que da para la altura del Sol.

Con todos estos datos, la excentricidad de la órbita solar resulta ser: 3337:100.000, estando el Auge del Sol en 6;39 de Cáncer.

Después, García de Céspedes expone otra serie de observaciones en otros puntos de la eclíptica, realizadas también en 1589 y 1590, y deduce una excentricidad de 3349:100.000, estando el Auge del Sol en 5° 16' de Cáncer.

Finalmente, añade otra serie de observaciones del año 1588, de las que resultó una excentricidad de 3349/100.000, estando situado el auge del Sol en 5° 16'. Resume diciendo que se hicieron otras muchas observaciones y de todas ellas el auge del Sol resultó estar entorno a los 7° de Cáncer, que es donde afirma se le debe poner. Esta última cifra parece un reajuste final ad-hoc y sugiere un deseo de no separarse demasiado de los datos de Copérnico. Como excentricidad, propone la media aritmética de las encontradas: 333/10.000. No deja de señalar que, según las "hipótesis" de Copérnico el auge del Sol estaría, en 1590 en 9° 8' de Cáncer, "lo cual es imposible según por las observaciones se podrá apreciar". En cuanto al valor de la excentricidad que proporciona Copérnico, de 322/10.000, mostraría los errores de las tablas basadas en él, según nuestro cosmógrafo. Pero, por otra parte, tampoco sería correcta la excentricidad que dan las *Tablas Alfonsíes*: 3778/100.000.

García de Céspedes da también una tabla de la ecuación del Sol, con raíz el mediodía del 31 de diciembre de 1584 (280° 1' 18") para el meridiano de Lisboa, y explica su uso.⁴¹

A continuación, García de Céspedes proporciona una tabla de la longitud del Sol para todos los días de 1584, acompañada de una tabla de correcciones (a la que también llama "ecuación") para años sucesivos. Después añade una tabla de declinaciones solares calculada para el periodo 1601-1604. En las tablas adjuntas (Tablas 4 y 5) puede apreciarse el grado de exactitud de estas tablas. Como se advierte, las diferencias entre los valores de la declinación derivados por García de Céspedes y los calculados son inferiores a 2'.⁴² Es decir, la mejora con relación a las tablas anteriores, tales como las de Zamorano y Lavanha, era notable.

Aunque el cuadrante utilizado por Céspedes, según su sumaria descripción, estaba graduado en grados y minutos, nuestro cosmógrafo también indica diversas formas de graduar este tipo de instrumentos, tales como el método sugerido por Nunes o "nonio", y mediante el uso de transversales. También describe otro procedimiento, que figura descrito en el tratado de *Arte de navegar* del jesuita Francisco da Costa (conservado manuscrito), para calcular los minutos con exactitud.⁴³ Consiste en tomar con un compás el exceso de grados y llevarlo a la escala y tomar varias veces este exceso hasta llegar a un número exacto de minutos. Es interesante señalar que en el manuscrito del *Regimiento* no figura descrito el uso de transversales. Es, por tanto, una adición posterior, resultado acaso de la lectura de la obra de Tycho Brahe.

García de Céspedes también revisó la ballestilla. Para graduar el transversario o virote, propuso utilizar tablas de tangentes y cotangentes, en lugar del método gráfico. Además, como ya había sugerido Michel Coignet en su *Instruction nouvelle...*, propuso usar tres transversarios o sonajas, para medir ángulos de 6 a 12, de 12 a 24 y de 24 a 60 o 70, respectivamente.⁴⁴

En cuanto al regimiento de la Polar, García de Céspedes realizó observaciones en 1598 para determinar la distancia de la estrella polar al polo. Así, el día del solsticio de invierno (21 de diciembre; 23:04 h) midió la altura meridiana del Sol, encontrando 26;7 (actual 26;6,36). Añadió 3' de paralaje y usó como oblicuidad de la eclíptica 23;28. Con ello calculó la latitud de Madrid en 40;22 (error de 2') y la altura del Polo. Midió la

⁴¹ *Regimiento*, f.19r-v.

⁴² Calculados por nosotros usando el programa de Bretagnon y Simon.

⁴³ *Regimiento*, f.68v-73v. El manuscrito del *Arte de navegar* de Francisco da Costa fue editado por Albuquerque (1970), Véase en las pp.136-137 de su obra la descripción del procedimiento. Véase también Albuquerque (1976), pp.96 y ss.

⁴⁴ Sobre Michel Coignet, véase Verlinden (1985).

altura de la polar a su paso por el meridiano, encima y debajo del polo, obteniendo los valores 43;23 y 37;24 respectivamente, resultando de todo ello una distancia al polo de cir.3°. García de Céspedes no deja de señalar que Christoph Rothman había encontrado en 1598 una cifra de 2;57. El valor real era de 2;31.⁴⁵

No puedo detallar aquí todos los aspectos de la obra de García de Céspedes, una auténtica suma de todos los conocimientos y técnicas desarrollados en Portugal y España sobre el arte de navegar, además de la integración de aportaciones de autores de otros países. Tampoco puede detenerme en la formidable tarea de revisión del nuevo mapa padrón a partir de la reunión y discusión de todos los datos hasta entonces conocidos. Como representación cartográfica del mapa padrón, García de Céspedes optó por la superposición de un trazado en segmentos circulares o husos sobre la carta plana de paralelos y meridianos rectos.

En 1607 García de Céspedes fue nombrado catedrático de matemáticas de la Academia. Los contenidos de la enseñanza a impartir eran ahora: Esfera; teóricas (o modelos) de los Planetas y tablas; los seis primeros libros de Euclides y partes del *Almagesto* de Ptolomeo; cosmographia y navegación y construcción y uso de algunos instrumentos. García de Céspedes se jubiló en 1611, sustituyéndolo en los cargos de cosmógrafo mayor y catedrático de matemáticas Juan Cedillo Díaz.⁴⁶ También en 1611, Juan Bautista Lavanha, que había estado ocupado en los trabajos para levantar el Mapa de Aragón, fue nombrado maestro de matemáticas del futuro rey Felipe IV.

Un manuscrito conservado en la Biblioteca Real de Turin es un atlas anónimo y sin fecha de 33 hojas que contiene cartas, diseños y reglas cosmográficas y pequeños textos cosmográficos y náuticos. Fue escrito en España, los textos figuren en castellano y fue concluido hacia 1612. Se preparó, al parecer, para ofrecérselo a Catarina, la hija de Felipe II, que murió en 1597, cuando el Atlas aún no estaba acabado. Según Corteçao y Texeira da Mota, el Atlas es obra de dos autores portugueses: Luis Texeira y Joao Baptista Lavanha.⁴⁷ Lavanha se ocupó, en particular de los textos y diseños cosmográficos y de la cartografía interior. El Atlas incluye tablas para el lugar del Sol para el cuatrienio 1612-1615 y una tabla para la declinación de los grados de la eclíptica. Aquí Lavanha adoptó, como oblicuidad de la eclíptica el valor 23;30. Por otra parte, estas tablas están incluidas también en la *Descripción del Universo* de Lavanha fechada en 1613.⁴⁸

⁴⁵ Ver García de Céspedes, *Regimiento*, f. 87 y ss.

⁴⁶ Véase Vicente, Esteba (1991).

⁴⁷ Teixeira da Mota (1987b).

⁴⁸ Ms. conservado en la Biblioteca Nacional de Madrid, Ms. 9251. Lavanha lo preparó para enseñar cosmografía al príncipe Felipe, hijo de Felipe III.

Para las tablas de los lugares del Sol Lavanha se basó muy probablemente en la *Ephemerides* de Magini,⁴⁹ basadas en las *Tablas prutenicas*, añadiendo una cantidad entre 3 y 4 minutos a los valores de la longitud solar que da Magini, cifra que podemos atribuir a la diferencia de longitud geográfica entre Madrid y Bolonia, según los valores de la época. Así, según el Atlas de Ortelio la diferencia de longitud era de unos 19^o, y según el Atlas Teixeira-Labanha de unos 17-18,5^o con módulo de 17 1/5 leguas por grado, que es el que figura en el *Atlas*.⁵⁰ (Véanse las tablas 6 y 7).

Lavanha también incluyó en el *Atlas* un catálogo de 40 estrellas de las que proporcionó las coordenadas ecuatoriales y eclípticas. Este catálogo (véase la Tabla 12) lo tomó ahora de Tycho Brahe, añadiendo 10' a las longitudes de Brahe para dar cuenta de la precesión de los equinoccios entre 1600-1610.

No deja de resultar curioso que Lavanha siguiera a Brahe en las coordenadas estelares y a Magini-Copérnico en la longitud del Sol. Asimismo, sorprende un poco que ignorara completamente la labor de revisión de las tablas para el lugar del Sol de García de Céspedes y de Manuel de Figueiredo, que sucedió a Lavanha como cosmógrafo mayor en Lisboa en 1608. Según parece, Figueiredo, en su *Hidrographia*, impresa este último año, había publicado nuevas tablas de declinación basadas en Tycho Brahe y con el valor de la oblicuidad de la eclíptica que éste da: 23;31,30.⁵¹ La edición de 1614 que hemos consultado incluye tablas de declinación para 1616-1619 (véase la Tabla 12). Según Albuquerque, Valentín de Sa, en su *Regimiento da Navegação* de 1624 reprodujo las mismas tablas, sin citar a Tycho Brahe.⁵²

También merece mencionarse entre los autores que trataron de revisar los regimientos adaptándolos a los progresos en la astronomía de observación el interesante trabajo de Antonio de Naiera *Navegacion especulativa y pratica, reformadas sus reglas, y tablas por las observaciones de Tycho Brahe...* (1628), publicado en castellano en Lisboa. En este libro Naiera se describe a sí mismo como “matemático portugués, nacido en la ciudad de Lisboa”. Este texto ya fue comentado por Albuquerque y aquí solo quiero señalar que Naiera presenta tablas para la declinación del Sol cuatrianuales, basadas en la teoría del Sol de Tycho Brahe, y en el valor

⁴⁹ G.A. Magini, *Ephemerides coelestium motum...ab anno Domini 1608 usque as annum 1630* (Venice, 1609).

⁵⁰ Una diferencia de longitud geográfica entre Bolonia y Madrid de 19^o equivale a cir.4' de variación en la longitud del Sol.

⁵¹ Véase Albuquerque (1984). No he podido consultar esta edición. La obra se reeditó en 1614, 1625 y 1632. Según Fontoura da Costa, citado por Albuquerque, el texto sólo cambió en pequeños detalles de una edición a otra.

⁵² Albuquerque (1984).

de éste para la oblicuidad de la eclíptica, redondeado a 23;31.⁵³ Véase en la Tabla 10 una comparación de los valores calculados por nosotros con los de Naiera. Naiera incluyó en su obra una lista de estrellas con sus coordenadas, con los valores tomados de Tycho Brahe, añadiendo a las longitudes de Brahe 12' para tener en cuenta la precesión de los equinoccios.

Una cuestión que aquí no hemos tratado, salvo algún comentario aislado, es la relativa a las cuestiones cosmológicas y al discutido tema del realismo *versus* instrumentalismo en la interpretación de las hipótesis astronómicas. En otro lugar me he ocupado de este asunto y también he explorado la influencia de la obra de Jerónimo Muñoz en los cosmógrafos españoles, varios de los cuales se formaron con él. Algunos, como Diego Pérez de Mesa, siguieron franca y abiertamente sus ideas y las enseñaron en sus cursos sobre la esfera. Otros, sintiéndose acaso estrechamente vigilados, rehuyeron discutir estas cuestiones, refugiándose en un actitud pragmática. Otros, finalmente, expusieron y aparentemente defendieron sin más los puntos de vista tradicionales, haciendo de la necesidad virtud o quizás por propia convicción.⁵⁴ Pero la reforma de la astronomía, que culminaría en la obra de Kepler, fue inseparable de consideraciones cosmológicas y de la adopción de premisas copernicanas. En la segunda y tercera décadas del siglo XVII, algunos cosmógrafos españoles debieron percibir con mayor claridad que la crisis de la astronomía y su resolución no era solamente cuestión de mejores observaciones y cálculos. Ello se refleja, por ejemplo, en el interés de Juan Cedillo Díaz, el nuevo cosmógrafo mayor y catedrático de la Academia de Matemáticas, por la obra de Copérnico, de la que tradujo una buena parte al castellano, añadiendo algunos comentarios propios. Comentarios en los que defiende una cosmología de cielos fluidos similar a la de Jerónimo Muñoz.⁵⁵ Y, también se advierte en la traducción de una gran parte del *Almagesto* de Ptolomeo, realizada por un personaje estrechamente relacionado con los cosmógrafos de la Academia, Juan Vélez. Este, en sus amplísimos y detallados comentarios al *Almagesto* muestra conocer bien la literatura astronómica europea de la época y discute ampliamente las cuestiones cosmológicas, mostrando claramente sus simpatías por los modelos, sistema e ideas de Tycho Brahe, sin ignorar otras propuestas.⁵⁶ Pero, al propio tiempo, la condena de las doctrinas copernicanas por la Iglesia Romana planteó nuevas y serias dificultades a los cosmógrafos y astrónomos españoles, para asumir plenamente las novedades astronómico-cosmológicas.

⁵³ Albuquerque (1984).

⁵⁴ Véase Navarro Brotóns (1992, 1995, 1998 y a aparecer).

⁵⁵ Véase Vicente, Maroto (1991).

⁵⁶ Véase Navarro Brotóns (1996).

La Dra. Ursula Lamb concluyó uno de sus magníficos trabajos dedicados a la actividad cosmográfica española diciendo que “la tarea de dar cuerpo al conocimiento en las llamadas ciencias de la naturaleza recorrió una fase de importancia en la España de los Habsburgo”.⁵⁷ A mi me gustaría concluir, de forma similar, diciendo que no se debería escribir la historia de la astronomía moderna, en particular, y de la ciencia, en general, ignorando la labor desarrollada por los pilotos y cosmógrafos portugueses y españoles.

Bibliografía

ALBUQUERQUE, L. de (1970), *Duas obras inéditas do padre Francisco da Costa*, Coimbra, Junta de Investigações do Ultramar.

ALBUQUERQUE, L. (1974), Sobre as prioridades de Pedro Nunes. En: *Estudos de História. vol.II*, Coimbra, Acta Universitatis Conimbricensis, pp.107-127.

ALBUQUERQUE, L. (1975) *Estudos de História. vol.III: A navegação astronómica*, Coimbra, Acta Universitatis Conimbricensis.

ALBUQUERQUE, L. (1976) Instrumentos de alturas e técnica da navegação. En: *Estudos de História. vol.IV*, Coimbra, Acta Universitatis Conimbricensis, pp.1-181.

ALBUQUERQUE, L. DE (1984), Portuguese Books on Nautical Science from Pedro Nunes to 1650, *Revista da Universidade de Coimbra*, 33, 259-278.

CHABAS, J.; GOLDSTEIN, B. (2000), *Astronomy in the Iberian Peninsula: Abraham Zacut and the Transition from Manuscript to Print*, Philadelphia, American Philosophical Society.

EDWARDS, C.R. (1969), Mapping by Questionnaire: An Early Spanish Attempt to Determine New World Geographic Positions, *Imago Mundi*, 23, 17-29.

ESTEBAN PIÑEIRO, M. (1993), Los oficios matemáticos en la España del siglo XVI. En: V. Navarro, V.L. Salavert, M.Corell, E.Moreno, V.Rosselló (coords.), *II Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Barcelona, Societat Catalana d'Història de la Ciència i de la Tècnica, pp.239-253.

GOLDSTEIN, B.; BARKER, P. (1995), The role of Rothmann in the dissolution of the celestial spheres, *The British Journal for the History of Science*, 28, 385-403.

⁵⁷ Lamb (1972 a).

GOODMAN, D. (1990), *Poder y penuria. Gobierno, tecnología y ciencia en la España de Felipe II*, Madrid, Alianza.

HERRERA, J. DE (1995), *Institucion de la Academia Mathematica*, Madrid, Instituto de Estudios Madrileños, 1995 (Facsímil de la edición de 1584, con un estudio preliminar de José Simón Díaz y Luis Cervera Vera).

LAMB, U. (1969), *Science by Litigation: A Cosmographic Feud, Terrae Incognitae*, 1, 40-57.

LAMB, U. (1972a), La nueva ciencia geográfica (Una víctima del sistema de concursos. Premios españoles para la solución de los problemas de la longitud), *Revista de Occidente*, nº110, 162-184.

LAMB, U. (1972b), *A Navigator's Universe: The "Libro de Cosmographia" of 1538 by Pedro de Medina*, Chicago, Univ. of Chicago Press.

LAMB, U. (1974), The Spanish Cosmographic Juntas of the Sixteenth Century, *Terrae Incognitae*, 6, 51-61.

LAMB, U. (1976), The Cosmographers of Sevilla: Nautical Science and Social Experience. In: F. Chiappelli (ed.), *First Images of America*, 2 vols., Berkely-London, Univ. California Press, vol.2, pp.675-686.

LAMB, U. (1985), *Nautical Science and their Clients in Iberia (1508-1624): Science from Imperial perspective*, Lisboa, Instituto de Investigaçao Científica Tropical.

NAVARRO BROTONS, V. (1992), "La actividad astronómica en la España del siglo XVI: perspectivas historiográficas", *Arbor*, 142 (558-559-560) (1992), 185-217.

NAVARRO BROTONS, V. (1995), "The reception of Copernicus's Work in Sixteenth-Century Spain: The Case of Diego de Zúñiga", *Isis*, 86, 52-78.

NAVARRO BROTONS, V. (1996), La ciencia en la España del siglo XVII: el cultivo de las disciplinas físico-matemáticas", *Arbor*, 153, 197-252.

NAVARRO BROTONS, V. "La astronomía (siglos XVI-XVII)", en *Historia de la ciencia y de la técnica en la Corona de Castilla*, Valladolid, Junta de Castilla y León, 2001 (forthcoming).

NAVARRO, V., RODRIGUEZ, E. (1998), *Matemáticas, cosmología y humanismo en la España del siglo XVI. Los Comentarios al Segundo Libro de la Historia Natural de Plinio de Jerónimo Muñoz*, Valencia, Instituto de Estudios Documentales e Históricos sobre la Ciencia.

NAVARRO BROTONS, V.; SALAVERT FABIANI, V.L.; ROSSELLO BOTEY, V.; DARAS ROMAN, V. (1999), *Bibliographia Physico-Mathematica Hispanica (1475-1900). Vol.I. Libros y folletos, 1475-1600*, Valencia, Instituto de Historia de la Ciencia y Documentación "López Piñero".

LOPEZ PIÑERO, J.M. (1979), *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI y XVII*. Barcelona, Labor.

GRANDE *Enciclopedia Portuguesa e Brasileira*, "Pedro Nunes", Lisboa-Rio de Janeiro, vol. XIX, pp.53-65.

PULIDO, J. (1950) *El Piloto mayor de la Casa de Contratación de Sevilla*, Sevilla, Escuela de Estudios Hispano-Americanos.

RANDLES, W.G.L. (1990), Pedro Nunes and the discovery of the loxodromic curve, or how, in the Sixteenth Century, navigating wit a globe had failed to solve the difficulties encountered with the plane chart, *Revista da Universidade de Coimbra*, 35, 119-130.

ROCHE, J.J. (1981), Harriot's "Regiment of the Sun" and its background in Sixteenth-Century Navigation, *The British Journal for the History of Science*, 14, 245-261.

RODRIGUEZ SALA, M.L., ed. (1998), *El eclipse de Luna. Misión científica de Felipe II en Nueva España*, Huelva, Universidad de Huelva.

SANCHEZ PÉREZ, J.A. (1934), Monografía sobre Juan Bautista Labaña. En: *Discurso leído en el Acto de su recepción...*, Madrid, Academia de Ciencias Exactas, Físicas y Narturales, pp.7-30.

SCHÄFFER, E. (1935-1947), *El Consejo Real y Supremo de las Indias*, 2 vols. Sevilla, Escuela de Estudios Hispano-Americanos.

SMART, W.M., *Textbook on Spherical Astronomy*, Cambridge, Cambridge University Press, 1977.

TEIXEIRA DA MOTA, A. (1969), *Os regimentos do cosmógrafo-mor de 1559 e 1592 e as origenes do ensino náutico em Portugal*, Lisboa, Junta de Investigações do Ultramar.

TEIXEIRA DA MOTA, A. (1987a), O Cartógrafo João Baptista Lavanha e a sua Obra. In: *Portugaliae Monumenta Cartographica*, Lisboa, Imprensa Nacional-Cvasa da Moeda, vol.IV, pp.63-69.

TEIXEIRA DA MOTA, A. (1987b), Anónimo-João Baptista Lavanha e Luís Teixeira, Atlas-Cosmografía de 1597 e 1612 na Biblioteca Reale, Turín. In: *Portugaliae Monumenta Cartographica*, Lisboa, Imprensa Nacional-Casa da Moeda, vol.IV, pp. 73-79.

VERLINDEN, C. (1985), *Michel Coignet et son "Instruction nouvelle des points les plus excellents et nécessaires touchant l'art de naviguer" (Anvers, 1581)*, Lisboa, Centro de Estudios de História e Cartografía Antiga.

VICENTE MAROTO, M.I.; ESTEBAN PIÑEIRO, M. (1991), *Aspectos de la ciencia aplicada en la España del Siglo de Oro*, Valladolid, Junta de Castilla y León.

WATERS, D.W. (1958) *The Art of Navigation in England in Elizabethian and Early Stuart Times*, New Haven, Yale Univ. Press.

Tablas

Tabla 1

Declinación del Sol. Rodrigo Zamorano. *Compendio de la Arte de Navegar (1581)*. Sevilla: 1577-1580

Año 1580	δ (Zam.)	δ (Stad.)	δ (Leov.)	δ (Calc)	S-C	L-C
Enero						
1	21° 57'	21° 57'	21° 51'	21° 55'	2'	-4'
5	21° 18'	21° 18'	21° 10'	21° 15'	3'	-5'
10	20° 19'	20° 19'	20° 10'	20° 15'	4'	-5'
15	19° 11'	19° 11'	19° 00'	19° 7'	4'	-7'
20	17° 54'	17° 55'	17° 42'	17° 49'	5'	-7'
25	16° 30'	16° 30'	16° 16'	16° 23'	7'	-7'
Febrero						
1	14° 20'	14° 20'	14° 4'	14° 12'	8'	-8'
5	12° 59'	13° 0'	12° 43'	12° 52'	7'	-9'
10	11° 15'	11° 16'	10° 58'	11° 7'	8'	-9'
15	9° 27'	9° 27'	9° 9'	9° 18'	9'	-9'
20	7° 35'	7° 35'	7° 16'	7° 24'	11'	-8'
25	5° 39'	5° 40'	5° 21'	5° 29'	10'	-8'

Tabla 2

Declinación del Sol. Joao Baptista Lavanha. *Regimiento Náutico (1595)*. Lisbon, 1593-96

Año 1593	δ (Lav.)	δ (Cal)	L-C
Enero			
1	23° 2'	23° 1'	1'
5	22° 39'	22° 37'	2'
10	21° 59'	21° 57'	2'
20	20° 9'	20° 4'	5'
Febrero			
1	17° 8'	17° 2'	6'
10	14° 23'	14° 15'	8'
20	10° 58'	10° 49'	9'
Marzo			
1	7° 38'	7° 28'	10'
10	4° 9'	4° 1'	8'
30	3° 42'	3° 51'	9'

Tabla 3
Longitud del Sol según Stadius y declinación del Sol derivada de Stadius. Comparación con Lavanha (Regimiento Nautico).

Año 1594	λ (St.)	δ (St.)	δ (Lav)	δ (Calc.)	L-C
Enero					
1	9,20;40	21;52,32	21;52	21;49	3
2	9,21;41	21;43,5	21;43	21;40	3
3	9,22;42	21;33,12	21;33	21;30	3
4	9,23;42	21;23,6	21,23	21;1	4
5	9,24;43	21;12,24	21;12	21;8	4
10	9,29,47	20;13,10	20;12	20;7	5
15	10,4;52	20;9,23	19;3	19;39	36
20	10,9;57	17;46,27	17;46	17;39	7
Febrero					
1	10,22;7	14;9,14	14;9	14;0	9
2	10,23;7	13;49,40	13,49	13;40	9
5	10,26;9	12;48,56	12;48	12;39	9
10	11,1;11	11;3,58	11;3	10;54	9
15	11,6;12	9;14,51	9,14	9;4	10
20	11,11;13	7;22,6	7,21	7;12	9

Tabla 4
Declinación del Sol. Andrés García de Céspedes. Regimiento de Navegación(1606). Lisboa: 1600-1603.

Año 1600	δ (Cés.)	δ (Calc.)	Ces-Calc
Enero			
1	23° 3'	23° 4'	1'
2	22° 58'	22° 59'	1'
10	22° 1'	22° 2'	1'
15	21° 12'	21° 13'	1'
20	20° 12'	20° 13'	1'
25	29° 3'	29° 4'	1'
Febrero			
1	17° 12'	17° 13'	1'
5	16° 2'	16° 1'	1'
15	12° 49'	12° 49'	0'
Junio			
1	22° 7'	22° 9'	2'
15	23° 20'	23° 22'	2'
30	23° 11'	23° 12'	1'
Julio			
1	23° 7'	23° 8'	1'

5	22° 47'	22° 49'	2'
10	22° 13'	22° 15'	2'
15	21° 30'	21° 31'	1'
20	20° 37'	20° 39'	2'
30	18° 27'	18° 29'	2'
Año 1601			
Enero			
1	22° 59'	23° 1'	2'
5	22° 35'	22° 36'	1'
10	21° 55'	21° 56'	1'
15	21° 3'	21° 5'	2'

Tabla 5
Longitud del Sol. Andres García de Céspedes. *Regimiento de Navegación* (1606). Lisbon

<i>Año 1584</i>	λ (Céspedes)	λ (Cal)	<i>Ce-Ca</i>
Enero			
1	9, 10;22,12	9, 10;24,4	0;1,52
5	9,14;26,54	9,14;28,41	0;1,42
15	9,24;38,6	9,24;39,58	0;1,52
Febrero			
29 ¹	11, 10;6,45	11,10;7,41	0;0,56
Abril			
11	0,21;39,17	0,21;38,42	0;0,45
Mayo			
1	1,10;6,6	1,10;4,48	0;1,16
Junio			
15	2,24;14,38	2;24,17,42	0;3,4
23	3,1;55,45	3, 1;52,8	0;3,37
July			
1	3,9;33,38	3,9;29,27	0;4,11
5	3,13,22,35	3,13,18,18	0;4,17
10	3,18,8,59	3,18,4,30	0;4,29
Diciembre			
1	8,9;34,11	8,9;34,5	0;0,6
10	8,18;43,14	8,18;43,34	0;0,20
15	8,23,48,45	8,23;49,12	0;0,17

¹ García de Céspedes no tiene en cuenta que 1584 era bisisesto y los datos para el 29 de Febrero figuran trasladados en la tabla al 1 de Marzo.

Tabla 6

Longitud del Sol. Joao Baptista Lavanha. *Descripción del Universo; Atlas Teixeira-Lavanha.*

Año 1612	λ (Lav.)	λ (Calc.)	L-C
Enero			
1	9,10;3	9,10;34	31'
5	9,14;8	9,14;39	31'
10	9,19;13	9,19;45	32'
20	9,29;24	9,29;56	32'

Tabla 7

Longitud del Sol. Comparación Lavanha (Descripción; Atlas)-Magini (Ephemerides).

Año 1612	λ (Lav.)	λ (Magini)	Diferencia
Enero			
1	9,10;3	9,9;59,30	cir. 3'
2	9,11;4	9,11;0,44	cir. 3'
5	9,14;8	9,14;3,57	cir.4'
10	9,19;13	9,19;9,25	cir. 4'
20	9,29;24	9,29;19,49	cir. 4'
Año 1614			
Enero			
1	9,10;34	9,10;30,17	cir. 4'
2	9,11;35	9,11;31,24	cir. 4'
10	9,19;44	9,19;40,12	cir. 4'
20	9,29;54	9,29;50,32	cir. 3'
25	10,4;59	10,4;55,19	cir. 4'
30	10,10;4	10,9;59,39	cir. 4'

Tabla 8

Declinación del Sol calculada a partir de Lavanha (Descripción; Atlas)

Año 1612	δ (Lav.)	δ (Calc.)	δ (Lav.) - δ (Calc.)
Enero			
1	23° 7'	23° 4'	3'
5	22° 45'	22° 41'	4'
10	22° 7'	22° 2'	5'
20	20° 20'	20° 12'	8'

Tabla 9
Declinación del Sol. Manuel de Figueiredo. *Hidrographia* (1612).

Año 1616	δ (Fig.)	δ (Calc.)	δ (Fig.) - δ (Calc.)
Enero			
1	23;5	23;4	1'
5	22;43	22;41	2'
10	22;3	22;2	1'
15	21;14	21;12	2'
20	20;13	20;12	1'
Año 1617			
Enero			
1	23;2	23;0	2'
5	22;37	22;35	2'
10	21;56	21;55	1'
20	20;3	20;2	1'
Año 1619			
Enero			
1	23;4	23;2	2'
5	22;40	22;39	1'
15	21;10	21;9	1'
20	20;9	20;8	1'
25	18;59	18;58	1'

Tabla 10
Declinación del Sol. Antonio de Naiera. *Navegación especulativa* (1625)

Año 1625	δ (Naiera)	δ (Calc.)	δ (Naiera) - δ (Calc.)
Enero			
1	23;0	23;0	0'
10	21;54	21;54	0'
15	21;2	21;2	0'
25	18;49	18;50	1'
Febrero			
6	15;25	15;27	2'
15	12;28	12;30	2'
28	7;43	7;46	2'
Marzo			
1	7;20	7;24	4'
23	1;16	1;13	3'
24	1;40	1;36	4'
30	4;0	3;57	3'
31	4;23	4;20	3'
Abril			
1	4;46	4;43	3'
10	8;9	8;7	2'
30	14;56	14;54	2'

Tabla 11
Catálogo estelar (*Atlas Teixeira-Lavanha*)²

Nombre	λ (Long.)	β (Lat.)	δ (Decl.)	α (AR)
Las narices de la ballena	Tau 8;57(8;47)	12;37 A	2; 31B	40;34
La cola de la ballena	Pis 27;6(26;56)	20;47 A	20;8 A	6; 0
La punta del ala de Pegaso	Ari 3;34(3;38)	12;35 B	13; 2 B	358;23
El hombrillo del ala de Pegaso	Pis 18;6,30(17;56,30)	19; 26 B	13; 9 B	341;24
El brazo izquierdo de Pegaso	Pis 23;59,30(23;49,30)	31;7,30 B	20;59 B	341;17
La boca del pez austral ³	Aqu 28;21,30	21;0 A	31;36 A	358;36
La cola del cisne	Pis 0; 3, 30(A29;53, 30)	59;56,5 B	43;56 B	307;3
El Aguila	Cap 26;19(26;9)	29;2,5 B	7;55 B	292;58
La Lyra	Cap 9;53(9; 43)	61;47,30 B	38;28 B	275;58
La cabeza del serpentario	Sag 17;0(16;50)	35;57 B	12;55 B	259;13
El corazon del escorpión ³	Sag 4;23(4;13)	4;27 A	25;28 A	241;29
La clara del cuello de la serpiente	Vir 16;40(16;30)	25; 35,30 B	7;44 B	231;21
La reluciente de la corona	Vir 6; 48,30(6;38.30)	44;23 B	28;4 B	229;34
La balanza septentrional	Vir 13;58(13;48)	8;35 B	7;53 A	224;4
La balanza austral	Vir 9;41(9;31)	0;26 B	14;21 A	217;24
Arcturus	Lib 18;49,30(18,39,30)	31;2,30 B	21;15 B	209;32
La espiga de la Virgen	18 Lib 26(V18;16)	1;59 A	9;5 A	196;9
La Cola del León	16 Vir 13(16;3)	12;18 B	16;45 B	172;18
La anca del León	5 Vir 51(5;41)	14;20 B	22;39 B	163;20
La d'en medio de la cerviz del L.	Leo24;9(23;59)	8;47 B	21;47 B	149;35
El corazón del León	Leo 24;27(24;17)	0;26,30 B	19;50 B	146;54
La resplandeciente de la Hydra	Leo 55,30(21;45,30)	22;24 A	2;0 A	137;10
El can menor	Can 20;28,30(20;18,30)	15;57 A	6;11 B	109;46
El can maior	Can 8;46,30(12;3) ⁴	39;30 A	16;27 A	97;1
La cabeza de Hércules	Can 17;53(17;43)	6;38 B	28;54 B	130;24
La cabeza de Apollo	Can14;51(14;41)	10;2 B	32;40 B	107;21
El Pie izquierdo de Hércules	Can 3;41(3;31)	6;48,30 A	16;40? B	93;48
El Hombro Izquierdo de Orión	Gem 23;22(23;12)	16;6 A	7;16 B	83;36
La d'en medio de O.	Gem18; 4(17;54)	24;33 ,30 A	1;30 A	79;10
El Hombro derecho de Orión	Gem 15;33(15;23)	16;53 A	5;56 B	76;7
El Pié derecho de Orión	Gem 11;27(11;17)	31;11,30 A	8;44 A	74;0
El hombro izquierdo de Er.	Gem 26;2(25;52)	2;27,30 B	44;50 B	82;54
La cabra	Gem 16;26(16;16)	22;51,30 B	45;31 B	72;2
El cuerno boreal del Toro	Gem 17; 9,30(T16;59,30)	5;20 B	28;13 B	75;27
El ojo del Toro (α Tauri)	Gem 4;22,30(4;12,30)	5;21A(5;31)	15;40 B	63;27
El lado izquierdo de Perseo ⁵	Tau 26;27(26;17)	30;5 B	48;24 B	44;12
La cabeza de Medusa	Tau 20;47(20;37)	22;22 B	39;25 B	40;49
El pie austral de Andrómeda	Tau 8;49(8;39)	27;46,30 B	40;26 B	25;5
La lin ⁶ de Andrómeda	Ari 24;59(24;49)	25;59 B	39;36 B	12;0
La cabeza de Andrómeda (α And)	Ari 8;57(8;47)	25;42 B	26;58 B	357;9

² Los valores de Tycho Brahe's figuran entre paréntesis.

³ Tycho Brahe: Pis 13;2 and lat: 9;4 B, mag.5.

⁴ Tycho Brahe: Inmed.rutilans, Antares seu Cor dicta

⁵ Tycho Brahe la llama "Fulgens in dextro latere".

⁶ Tycho Brahe: Australior in cingulo.