

La medición de un imperio: reconstrucción de los instrumentos utilizados en el proyecto de López de Velasco para la determinación de la longitud/

Measuring an Empire: Reconstruction of the Instruments Used in López de Velasco's Project to Determine Longitude

Manuel Morato-Moreno
orcid.org/0000-0003-0809-1413
Universidad de Sevilla

El artículo aborda la reconstrucción gráfica de los instrumentos descritos en la Instrucción de Juan López de Velasco para determinar la longitud mediante la observación de los eclipses de Luna. Al final se formula una propuesta teórica: aunque el método para la determinación de las longitudes descrito en el cuestionario de los eclipses, ha sido atribuido en diversas ocasiones a López de Velasco, la invención de los instrumentos es poco probable que se deba al cosmógrafo real, existiendo indicios que apuntan hacia la intervención de Juan de Herrera, arquitecto de Felipe II.

PALABRAS CLAVE: Nuevo Mundo; Cosmografía; Longitudes; Eclipses; Instrumentos.

The article discusses the graphical reconstruction of the instruments to determine longitude by observing lunar eclipses, described in Lopez de Velasco's project to map the New World. Finally, a theoretical proposal is made: although the method to determining longitudes in the eclipse questionnaire has been attributed several times to Juan López de Velasco, who had jurist training, it is unlikely that the royal cosmographer was the inventor of instruments. However, there are also elements that point to the authorship of Juan de Herrera, architect of Philip II.

KEYWORDS: New World; Cosmography; Longitudes; Eclipses; Instruments.

Existe un creciente interés historiográfico por el importante papel de la cosmografía en el horizonte científico español del siglo XVI. Tanto autores hispanos como procedentes del mundo anglosajón, se han ocupado de la actividad científica desarrollada en la Península Ibérica durante la edad moderna y ligada especialmente a la cosmografía, la cartografía, la navegación y los viajes de ultramar como consecuencia del descubrimiento europeo de nuevos territorios geográficos.¹ Este interés se ha visto acrecentado en las últimas décadas, como se constata por la aparición de publicaciones sobre el caso ibérico y por extensión estudios sobre la ciencia en el mundo Atlántico.

En este contexto surge este artículo con el objetivo de realizar una hipótesis de reconstrucción gráfica de dos sencillos instrumentos ideados para determinar la longitud geográfica de cuantos lugares fuese posible en las posesiones españolas de ultramar, al objeto de componer un detallado mapa de esos territorios, así como la ubicación de los mismos respecto al resto del mundo. Este ambicioso proyecto de López de Velasco constituyó la primera observación astronómica conocida a gran escala. Dado que el tema ya ha sido tratado desde el punto de vista histórico y epistemológico, este trabajo se centra en los aspectos formales, en su definición geométrica, teniendo en cuenta que no nos ha llegado ningún dibujo de la época que ilustrase estos instrumentos. Parte del interés de este trabajo estriba en que las reconstrucciones realizadas no se limitan a la forma y el tamaño que se deducen de las fuentes primarias conservadas, sino que se tratan de explicar, de una manera sencilla, los fundamentos en los que se basan, sin entrar en los complejos cálculos matemáticos que los cosmógrafos debían aplicar posteriormente al resultado de las observaciones, hasta obtener las preciadas coordenadas de longitud. Con la sola excepción de los trabajos publicados por María Portuondo,² en los que se incluyen unos dibujos —aunque esquemáticos—³ de los instrumentos, no hemos encontrado en la bibliografía especializada ninguna otra propuesta de reconstrucción de los mismos.

1 Sánchez, 2011, 106.

2 Portuondo, 2009, y 2013, 259-260.

3 Para ser justos, hay que decir que si bien los dibujos que ilustran los trabajos de María Portuondo son muy elementales, lo cierto es que realiza un valioso estudio astronómico y matemático sobre los cálculos que debían realizar los cosmógrafos en la Península para obtener la longitud, a partir del registro de las mediciones que se llevaban a cabo durante la observación del eclipse.

Introducción

En la España del siglo XVI la necesidad de conocer la extensión del continente americano y su ubicación respecto al mundo hasta entonces conocido, hizo que la ciencia cosmográfica se plantease importantes retos tanto en sus planteamientos teóricos como, y sobre todo, en sus métodos prácticos. Probablemente, una de las razones por la que fracasó el proyecto de representación del Nuevo Mundo fue la imposibilidad de establecer un sistema de referencia que permitiese localizar cualquier punto de la superficie terrestre mediante sus coordenadas geográficas de latitud y longitud.⁴ En realidad fue la determinación de la longitud el obstáculo que impidió cubrir el globo terráqueo con una red de meridianos y paralelos que hubiesen permitido no solo cuantificar la extensión del Nuevo Mundo, sino situarlo con exactitud con relación al resto de la ecúmene conocida.

Para el pragmático Felipe II, con un interés personal por la geografía, el Nuevo Mundo había de ser descrito con precisión no solo para satisfacer su curiosidad, sino también de cara a la administración del más vasto imperio hasta entonces conocido.⁵ Este magno proyecto se planteó con unas premisas que desde el punto de vista teórico lo hacían perfectamente factible: se confeccionarían mapas generales, desglosables en otros tantos particulares que, como piezas de un gran puzzle, una vez encajadas en su lugar correspondiente, compondrían un detallado y exacto mapa continental. Para lograr ese «encaje» era necesario referenciar cada mapa en un sistema de coordenadas geográficas de meridianos y paralelos.

4 Los planes llevados a cabo en Europa con objeto de conocer las tierras y ciudades que pertenecían al imperio español de Felipe II, fueron también dirigidos posteriormente a la América española, destacando entre los cosmógrafos encargados de su dirección y organización Alonso de Santa Cruz y su sucesor en el cargo, Juan López de Velasco. Existió un proyecto de representación del Nuevo Mundo, con el que componer un atlas geográfico y corográfico, para llevar a cabo una descripción rigurosa y precisa del mismo (véase Navarro, 2014, 175-202). Se comenzaría por la realización de mapas generales en los que se determinarían las coordenadas geográficas por métodos astronómicos. Esto permitiría no solo cuantificar la extensión del continente americano, sino también establecer la situación de este con relación al resto del mundo conocido, lo que zanjaría las disputas por el Tratado de Tordesillas. Este magno proyecto resultó utópico, se concibió en la metrópolis sin tener en cuenta la realidad al otro lado del Atlántico: las enormes distancias, las grandes extensiones inexploradas, la falta de técnicas e instrumentos para determinar las longitudes, así como la desigual cualificación de los encargados de levantar los mapas. Aunque hubo un grupo reducido de hombres que comprendieron, en parte, qué tipo de mapas estaba solicitando la Corona, no contaron con los medios humanos y materiales de que dispuso Pedro de Esquivel en la Península. A diferencia de este, que pateaba cada palmo de tierra que iba a levantar, hombres como Santa Cruz y López de Velasco debían trazar el mapa del Nuevo Mundo mediando un océano de por medio.

5 Portuondo, 2013, 81.

Durante el siglo XVI, entre los cosmógrafos encargados de dirigir y organizar la vasta labor de representar gráficamente las posesiones españolas en ultramar, los más destacados fueron Alonso de Santa Cruz (c. 1505-1567)⁶ y posteriormente Juan López de Velasco († 1598). Ambos encontraron un obstáculo difícil de superar: la determinación de las longitudes. Entonces la latitud se hallaba fácilmente, cualquier navegante podía localizar la estrella Polar, que se encuentra aproximadamente alineada con el eje polar de la Tierra. Durante la noche con un simple instrumento como la ballestilla, un marino podía medir el ángulo vertical entre la estrella Polar y el horizonte, valor que prácticamente coincide con la latitud del lugar. De día, la latitud puede determinarse mediante la altura meridiana del Sol.⁷

Por tanto, el esfuerzo de estos cosmógrafos se centró en obtener un medio para poder determinar con exactitud las longitudes de cuantos más lugares fuese posible en los territorios ultramarinos, pues sin esos datos el mapa del Nuevo Mundo carecería de exactitud, dada su extensión, además del problema de ubicar la posición del continente americano en relación con el resto del mundo hasta entonces conocido. Efectivamente, aunque con mediciones de ángulos y distancias realizadas *in situ* se podían obtener levantamientos planimétricos locales, al tratar de cubrir regiones del tamaño de un continente, los errores acumulados en la estimación de distancias alcanzarían valores incompatibles con la exactitud deseada.

Aunque la determinación de la longitud planteó siempre un verdadero problema, especialmente desde que el hombre se lanzó a la navegación astronómica, en el siglo XVI el asunto llegó a ser de tal importancia que la mayoría de los gobiernos con intereses coloniales ofrecieron al final de la centuria grandes recompensas a quien propusiera un método que obtuviese la longitud con una precisión de un grado aproximadamente.⁸

Antecedentes

Desde los primeros tiempos a que se remonta la historia de la astronomía, se ha conocido que la cuestión de determinar la diferencia de longitud entre dos puntos del globo se reduce a registrar las horas locales que

6 La importancia del papel de Santa Cruz en los intentos para determinar las longitudes como condición indispensable para la construcción de un completo mapa del Nuevo Mundo y su situación en el orbe, se trata más adelante.

7 Cerezo, 1994, 53-55.

8 Esteve, 2004, 246.

tienen lugar en ambos lugares en un mismo instante. Cuando los puntos que se quieren relacionar se hallan en distintos continentes, en mar abierto o a considerable distancia con relación a las dimensiones de la Tierra, es preciso auxiliarse de observaciones astronómicas. Así lo comprendió ya Hiparco de Nicea (siglo II a.C.) hace más de dos mil años. Este hábil geógrafo y astrónomo concibió el pensamiento de resolver el caso en cuestión midiendo la distancia de cada lugar al ecuador y a un meridiano de situación conocida, y aunque le pareció muy difícil el cálculo de esta última cantidad, juzgó con acierto que podría obtenerse por medio de observaciones simultáneas de los eclipses de Luna. Los principios subyacentes a la determinación de distancias longitudinales observando eclipses de Luna —bien conocidos en la antigüedad— recobraron su crédito tras publicarse, en el siglo XV, la Geografía de Ptolomeo.⁹ Verdaderamente este método era muy ingenioso, pero en aquella época de difícil aplicación práctica.¹⁰

En Europa, durante los siglos XIII, XIV y XV los marineros disponían de portulanos que recogían la delineación de todas las costas del Mediterráneo y parte de las del Atlántico Norte, con una más que aceptable exactitud en cuanto a la forma.¹¹ Estos mapas incorporaban una escala lineal y un entramado de rectas de los vientos o rumbos (multitud de haces radiales de líneas rectas entrecruzadas), con el cual un piloto podía calcular su rumbo de puerto a puerto. En cambio, no tenían red de latitud y longitud, por lo que carecían de proyección.¹² Para el Mediterráneo, con su corta distancia relativa norte-sur, eso no importaba mucho, puesto que la convergencia de los meridianos hacia los 15 grados de las latitudes medias era demasiado insignificante como para ocasionar una distorsión seria.

Durante el tiempo en que la navegación se limitó a los mares interiores, sin perder de vista la costa y navegando de cabo a cabo, el problema de la situación por coordenadas era prácticamente inexistente. A finales del siglo XV, cuando los marinos llevados quizás por la necesidad, perdieron el miedo que les infundía el *Mare tenebrosum* y comenzaron a navegar los océanos; se hizo necesario determinar la latitud, más o menos exacta. Esta

9 Portuondo, 2013, 253.

10 Comellas, 1991, 22.

11 El trazado de perfiles costeros y la fijación de distancias entre lugares dibujados sobre un pergamino, acomodados a la figura del mar Mediterráneo, dieron origen a las primeras cartas de marear. La idea de situar en un plano lugares de la geografía costera conforme con los rumbos indicados por la brújula y las distancias navegadas, se plasmó en el trazado de la carta arrumbada, carta de compás, carta portulana o simplemente portulano.

12 Spate, 1979, 58.

se podía obtener, bien por la observación de la estrella Polar o del Sol a mediodía a su paso por el meridiano. No ocurría así con la longitud, que los pilotos españoles conocían como «altura del leste-oeste». Durante ese tiempo se navegaba por estima y latitud; esta se obtenía de la observación astronómica, pero la longitud se calculaba haciendo una estimación en función de la distancia navegada desde la salida, para lo cual se empleaban correderas de barquilla (cuerda anudada) y ampolleta (reloj de arena).¹³

La determinación precisa de la longitud en el mar continuó siendo imposible hasta dos siglos y medio después de que el papa Alejandro VI la convirtiera en «una cuestión vital», al decretar un meridiano como la línea de demarcación entre los hemisferios español y portugués, en el Tratado de Tordesillas. Por primera vez en la historia occidental, la medición geodésica precisa tenía implicaciones políticas.¹⁴

El cálculo de la longitud o meridiano fue por largo tiempo un problema descorazonador, casi irresoluble. Los cosmógrafos de la época de Colón lo consideraron resignadamente como un límite puesto por la Providencia al conocimiento humano. Tan grave llegó a ser que los monarcas de los estados atlánticos —España, Portugal, Francia e Inglaterra— ofrecieron sustanciosas recompensas a quien descubriera un método para determinar longitudes geográficas. En 1598, Felipe II convocó un concurso con un premio de 6.000 ducados de renta perpetua, a los cuales su hijo Felipe III añadiría 2.000 ducados de ayuda de costa.¹⁵ Tan tentadora oferta hizo que numerosos científicos, entre ellos Galileo Galilei, presentaran propuestas.

Longitud y eclipses de Luna

La observación de un acontecimiento cósmico visto en el mismo instante desde distintos puntos de la Tierra podría servir como un evento de sincronización global para conocer la diferencia horaria entre diferentes lugares. Un ejemplo de fenómeno simultáneo es un eclipse. No un eclipse de Sol, que se produce a distintas horas en distintos lugares del mundo, y además solo es visible desde ámbitos muy restringidos, sino un eclipse de Luna. En este caso el fenómeno se produce en todo el hemisferio que se oscurece, por lo que puede ser visto en áreas muy extensas. Si dos observadores anotan sus

13 Claret, Bermejo y Jiménez, 2006, 37-38.

14 Portuondo, 2013, 88.

15 Cuesta, 1999, 62.

horas locales respectivas al ocurrir el fenómeno y se restan, el resultado coincide, precisamente, con la diferencia entre las longitudes de los puntos en cuestión, equivaliendo una hora a 15 grados. El problema es que los eclipses de Luna no se producen todos los días, ni a veces todos los años.¹⁶

El empleo de la Luna para determinar la longitud ya fue propuesto por Juan Werner de Núremberg (1468-1528) en los comentarios a su edición de la *Geografía* de Ptolomeo en 1514,¹⁷ aunque ya aparecía esbozado en el *Theorica planetarum* de Gerardo de Cremona (c. 1114-1187), a finales del siglo XII. Tanto el procedimiento basado en el movimiento de la Luna, como el empleo de cronómetros fueron anunciados por Gemma Frisius (1508-1555) en 1530, en su *De principalis astronomiae et cosmographia*. En 1536, en la Península Ibérica Pedro Núñez, cosmógrafo del rey de Portugal, ya ordenó renovar el derrotero oficial de la travesía Portugal-Molucas usando eclipses de Luna para corroborar las distancias.¹⁸ La determinación precisa de la longitud geográfica preocupaba sobremedida desde el Tratado de Tordesillas (1494), y durante el siglo XVI fue una preocupación de hombres egregios como Hernando Colón, Pedro Apiano, Alonso de Santa Cruz, Jerónimo de Girava o Juan López de Velasco.¹⁹

Las ordenanzas del Consejo de Indias, aprobadas en 1571, que regulaban el ejercicio del cosmógrafo-cronista mayor de la institución, detallaban en su artículo 118 los métodos que había que emplear para recabar coordenadas geográficas para las descripciones (cartográficas) generales. Para determinar la longitud se establecía utilizar la observación de eclipses, en lugar de los derroteros de rumbos y distancias que los pilotos iban registrando en sus viajes.²⁰

Otro método, en principio muy sencillo, y que al final resultó definitivo, consistía en el empleo de relojes. Se trataba de poner un reloj en la hora del meridiano de referencia, y transportarlo al lugar cuya longitud se quisiese determinar. La comparación con la hora local suministraría inmediatamente la longitud. Efectivamente, la Tierra da una vuelta completa alrededor de su eje cada 24 horas, por lo que a cada hora corresponden 15 grados de longitud, y a cuatro minutos un grado. Sin embargo, los avances en cronometría distaron de poder proporcionar un reloj lo suficientemente exacto hasta mediados del siglo XVIII.

16 Comellas, 1991, 51.

17 Portuondo, 2013, 254.

18 *Ibidem*, 2013, 256.

19 Pereda y Marías, 2002, 296.

20 Portuondo, 2013, 144.

Santa Cruz, López de Velasco y la Instrucción de los eclipses

Alonso de Santa Cruz (1505-1567), nombrado cosmógrafo de la Casa de la Contratación en 1536, trató de abordar durante casi todo el tiempo que sirvió a la Corona el problema de la longitud. Consecuencia de ello, escribió en 1555 el *Libro de las longitudes*,²¹ que contenía una descripción de las doce maneras más usuales de obtener la longitud. En su manuscrito Santa Cruz proponía la recolección simultánea de las lecturas de la posición de la Luna, realizada por observadores de todo el mundo. A partir de esos datos, podría determinar matemáticamente dónde establecer las líneas de longitud. Su método intuitivo pedía concretamente observaciones de un eclipse lunar, con instrucciones a profanos sobre la forma de registrar su posición en el cielo. Santa Cruz podría predecir cuándo se producirían los eclipses porque estos y la órbita de la Luna alrededor de la Tierra eran bien conocidos por los cosmógrafos del siglo XVI. Los eclipses serían fácilmente observables, si no perfectamente entendidos, por personas no instruidas en cosmografía. A partir de un conjunto de observaciones de un único eclipse, Alonso de Santa Cruz podría determinar matemáticamente las longitudes y construir el deseado modelo reticular de meridianos y paralelos que envolviese la Tierra, con lo que habría encontrado, por fin, un sistema universal para posicionar cualquier punto sobre su superficie, en tierra o mar; así como un medio indiscutible para zanjar las disputas territoriales entre las potencias con intereses coloniales, especialmente los reinos de España y Portugal.

Como correctamente señaló Santa Cruz, este método no era muy útil para las necesidades continuas de los navegantes, ya que los eclipses eran fenómenos infrecuentes. Pero además había otros inconvenientes pues, como comprendió claramente el cosmógrafo real, era esencial asegurarse de que estaba siendo cronometrada la misma fase del largo proceso del eclipse en los lugares en cuestión. Un error de tan solo pocos minutos en la medida del tiempo acarrearía grandes errores en la longitud.²² A pesar de estas dificultades, Santa Cruz ideó para las Indias un cuestionario que debía ser remitido a navegantes y descubridores. Aunque dicho formulario sirvió de base para algunos de los que finalmente adoptó la Corona,²³ su proyecto

21 Alonso de Santa Cruz, *Libro de las longitudes y manera que hasta agora se ha tenido en el arte de navegar, con sus demostraciones y ejemplos*, Biblioteca Nacional de España (BNE), Mss/9441. Existen dos ediciones modernas, una de Antonio Blázquez y Delgado Aguilera (Sevilla, Tipografía Zarzuela, 1921) y otra de Mariano Cuesta Domingo (Madrid, CSIC, 1983).

22 Goodman, 1990, 74.

23 Millán, 2001, 49.

no fue realizado y los numerosos mapas del mundo que dejó en su colección todavía contenían errores longitudinales. Aparte del cuestionario para la observación de los eclipses, no existe constancia documental de que Alonso de Santa Cruz hubiese descrito algún instrumento para realizar las observaciones.²⁴

Cuatro años después de la muerte de Santa Cruz, sus proyectos se retomaron cuando, en 1571, Juan López de Velasco, por entonces ayudante del presidente del Consejo de Indias, don Juan de Ovando; fue nombrado con el doble cargo recién creado de cosmógrafo-cronista mayor de Indias.²⁵ Las obligaciones y facultades de este oficio venían a corresponder a la figura cuya creación Santa Cruz había pedido repetidas veces al monarca, sin conseguirlo entonces por la oposición de los miembros del Consejo de Indias, todos de formación jurídica, que se negaban a que existiera en el citado consejo un oficial de alta cualificación que no fuera letrado.²⁶ Jurista como su mentor y sin especial formación científica, López de Velasco era un burócrata consumado —persona dedicada al «oficio de papeles»—, el consejo lo consideró un hombre apropiado para el cargo pues hablaba el idioma de los entonces llamados «letrados». Para los miembros de aquella institución, lo fundamental no era poder ubicar pueblos y lugares en función de una retícula matemática absoluta de latitud y longitud, sino en jurisdicciones políticas y eclesiásticas definidas.²⁷ Sin embargo, la primera parte del programa de su antecesor que López de Velasco llevó a cabo fue la Instrucción de los eclipses, un proyecto que sin duda debió su génesis al manuscrito de Santa Cruz sobre las longitudes, en el que había propuesto usar este tipo de encuesta para recoger observaciones astronómicas. Poco después de tomar posesión como cosmógrafo-cronista, López de Velasco envió un cuestionario a las colonias españolas para recabar observaciones de eclipses lunares,²⁸ con la intención de acumular datos que permitiesen

24 Nos referimos a instrumentos para determinar la longitud mediante la observación de eclipses de luna, puesto que Santa Cruz —cosmógrafo, cartógrafo y fabricante de instrumentos— ideó en 1535 un aparato para calcular la longitud por distancias entre la Luna y los planetas. Un año más tarde inventa otro aparato para calcular la longitud por las desviaciones de la brújula. Véase Cuesta, 2004, 11-12.

25 Real Provisión concediendo a Juan López de Velasco el título de cronista y cosmógrafo mayor de Indias, Madrid, 20 de octubre de 1571, Archivo General de Indias (AGI), Indiferente, 426, L. 25, 126r-127v. El texto completo de la provisión está publicado en Vicente y Esteban, 1991, 432-434.

26 Esteban, 1993, 247.

27 Portuondo, 2013, 165 y 208.

28 Juan López de Velasco, *Instrucción y advertimientos para la observación de los eclipses de la luna, y cantidades de las sombras que Su Magestad manda hacer*, Madrid, 28 de mayo de 1578, BNE, Mss/3035, 40r-41.

establecer longitudes. Para ello optó, como Santa Cruz había aconsejado, la más simple de las múltiples formas de determinar la longitud: las observaciones de un eclipse de Luna. Se veía ante la ocasión de estandarizar este tipo de observaciones y el formato empleado para su registro por todo el imperio.²⁹

Esta iniciativa real significó la puesta en marcha del primer plan sistemático de observación astronómica a gran escala en el mundo.³⁰ El proyecto fue llevado a cabo por varias decenas de cosmógrafos reales, matemáticos y otros funcionarios en todos los dominios de Felipe II, siguiendo las instrucciones dictadas por López de Velasco. Los observadores debían registrar cuantas circunstancias rodearan el eclipse que contemplaban, como la hora de inicio, la duración, la intensidad —total o parcial— y la sombra sobre un instrumento.³¹

Aunque en esta época el nivel alcanzado en la observación astronómica era elevado, López de Velasco quiso verificar las coordenadas geográficas de las poblaciones de Indias con una triple finalidad: primera dando un carácter intercontinental, ya que debería realizarse en el mayor número de poblaciones pertenecientes a Europa, América y Asia; segunda imprimiendo un perfil universalista al detallar un procedimiento que cualquier persona, aun sin preparación científica, pudiera registrar los datos astronómicos del eclipse, y tercera explicitando la uniformidad del método a realizar por todos los observadores.³²

La lentitud de la maquinaria burocrática colonial impidió la llegada de las Instrucciones a tiempo para la observación del eclipse que tuvo lugar en 1577, teniendo que esperarse al siguiente de 1581 para lo que hubo de remitirse una nueva instrucción.³³ La mayoría de los encuestados, si no todos, hicieron caso omiso al cuestionario.

Aun siendo varios los cosmógrafos de entonces que trataron el método de los eclipses para hallar la longitud, no existe precedente similar sobre

29 Portuondo, 2013, 257.

30 Fartos, Velázquez y Almarza, 1997, 425.

31 Esteban, 2004.

32 Esteve, 2004, 247.

33 López de Velasco seleccionó los eclipses del 26 de septiembre de 1577 y el del 15 de septiembre de 1578. Los primeros cuestionarios llegaron a Nueva España el 28 de mayo de 1578, siendo imposible la observación del eclipse de 1577, y probablemente demasiado tarde para llegar a tiempo, en algunas jurisdicciones, al de 1578. Ya sea por esta razón o por la falta de respuesta, se enviaron sin éxito recordatorios en 1580; decidiéndose finalmente que se realizase la observación del próximo eclipse, el 15 de julio de 1581, para lo que hubo que enviar una nueva Instrucción. Véase Edwards, 1969, y Millán, 2001, 81.

la descripción detallada de los instrumentos, del protocolo específico para su construcción y del registro de la observación, como el procedimiento explicitado por López de Velasco en la Instrucción de los eclipses.³⁴ Es bastante probable que se inspirase para redactarlas en el legado que recibió de Santa Cruz.³⁵ Este ya apuntaba en su *Libro de las longitudes* que el método planteaba algunos problemas, como por ejemplo lo complicado de determinar a ojo los momentos exactos del comienzo y el final del fenómeno. También planteaba Santa Cruz lo difícil e impreciso de sincronizar relojes con el correspondiente meridiano de observación; por no hablar de la escasa frecuencia con que se producen los eclipses lunares y la imposibilidad de utilizar el método en el océano.

Desafortunadamente no nos ha llegado ninguna respuesta al cuestionario de los eclipses de López de Velasco, bien por haberse perdido o por no haber tenido la encuesta contestación por parte de las autoridades locales encargadas de que se llevasen a cabo las observaciones y enviar sus resultados a España. Sin embargo, en el Archivo General de Indias se conservan dos juegos de documentos que constituyen la única documentación gráfica sobre la observación de los eclipses de Luna que ha sobrevivido del siglo XVI. Se trata de los registros correspondientes a una observación realizada en Ciudad de México del eclipse de 1584,³⁶ y otra en Puerto Rico,³⁷ cuya fecha exacta está aun por determinar.³⁸

La observación del eclipse de 1584 en Ciudad de México tuvo lugar el día 17 de noviembre y se llevó a cabo por un grupo compuesto por los cosmógrafos Jaime Juan —responsable de la misión— y Francisco Domínguez, el doctor Pedro Farfán y el armero real Cristóbal Gudiel. La observación tuvo lugar en la azotea de las casas reales, en presencia del arzobispo Pedro Moya de Contreras (virrey de Nueva España). El documento que

34 Portuondo, 2013, 256.

35 La única copia manuscrita del *Libro de las longitudes*, conservada en la Biblioteca Nacional, está mutilada, faltándole una página (entre la hoja 11 y la 12), precisamente la correspondiente a parte del relato donde describe la tercera de las doce maneras de calcular la longitud: por los eclipses de Sol y de la Luna. Véase Portuondo, 2013, 256.

36 Doce figuras o planos del eclipse de Luna observado en México el 17 de Noviembre de 1584, hechas por Jaime Juan, Cristóbal Gudiel, Francisco Domínguez y el doctor Farfán conforme á las instrucciones de Su Majestad, AGI, Mapas y Planos, México, 34.

37 Observación astronómica de la Luna, hecha en Puerto Rico, demostrada con círculos, AGI, Mapas y Planos, Teóricos 1 y 2.

38 Aunque en la catalogación del AGI se le atribuye como fecha probable el 2 de septiembre de 1600, María Portuondo estima, por los registros del mismo archivo, como fecha posible 1581 o 1588. Véase Portuondo, 2013, 276.

recoge el registro del eclipse, además de la memoria en latín, posee numerosas ilustraciones explicativas del procedimiento seguido para la observación, así como los resultados de la misma, con textos en español.³⁹ De especial interés son los ocho dibujos que se incluyen en el manuscrito por ser los únicos, junto con los de Puerto Rico, que han sobrevivido sobre el registro de un eclipse lunar para la determinación de las longitudes en el siglo XVI. De cada uno de los cuatro participantes en la observación se incluyen dos dibujos, uno correspondiente al instrumento y trazado de la línea meridiana y el otro al uso de otro instrumento para el registro de la observación del eclipse propiamente dicha.

Los instrumentos descritos en la Instrucción de López de Velasco

El objetivo central de este estudio es establecer una hipótesis de reconstrucción gráfica de los instrumentos atribuidos a Juan López de Velasco. Esto ya ha sido tratado por algunos autores contemporáneos, como Edwards o Portuondo,⁴⁰ aunque de una forma esquemática, en lo que respecta al dibujo de los instrumentos. La reconstrucción que aquí se propone se ha realizado a escala, basándose en las descripciones de los instrumentos que se hace en la Instrucción, tomando las dimensiones que se deducen de la misma. Asimismo se ha tratado de ilustrar el funcionamiento de los mismos.

La Instrucción, a pesar de no contener ninguna información gráfica que ilustre el procedimiento y los aparatos que era necesario construir al efecto, fue el instrumento documental que se utilizó para la observación simultánea de los eclipses lunares en varias ciudades españolas y americanas y, desde luego, el antecedente inmediato de la primera misión científica realizada en las posesiones españolas de ultramar, concretamente en la Ciudad de México, a la que nos hemos referido anteriormente. Al igual que en esta, eran dos los instrumentos necesarios para realizar la observación: uno para trazar la línea meridiana, línea que corre de la equinoccial al polo (dirección norte-sur). Un segundo instrumento situado perpendicular

³⁹ El contenido íntegro del documento ha sido publicado en forma facsimilar, reproduciendo los dibujos y textos, junto con la transcripción paleográfica y la traducción de los textos en latín. Además se realiza un estudio contextual del fenómeno observado en la misión científica: Rodríguez-Sala, 1998.

⁴⁰ Edwards, 1969. Portuondo, 2009.

a la línea meridiana (dirección este-oeste) era el encargado de registrar la observación del eclipse.

El procedimiento que describía la Instrucción era simple: en primer lugar, en la víspera del eclipse, había que trazar la línea meridiana (norte-sur) por el método de las sombras. Este método de índole geométrico que se ejecuta *in situ* no es otro, sino el descrito por Pedro Roiz en su obra *Libro de los Relojes Solares*,⁴¹ además fue el utilizado por la mayoría de los tratadistas del Renacimiento como Pedro Apiano, Gemma Frisius, Ginés Rocamora y Andrés García Céspedes entre otros.⁴² La Instrucción de López de Velasco decía al respecto:

Sobre alguna cosa de barro duro, cal, yeso o de madera, se haga un plano ó llanura de hasta una vara en quadro a regla y nivel [...] y en el medio del con un compás, que se podrá hazer de madera (en el caso que no le aya de otra cosa) hazerse han dos círculos redondos, uno dentro del otro, desde un mismo centro [...] que para un círculo estara abierto una tercia de vara de medir de punta a punta y para el otro tercio y medio [...] pondrase hincado en el centro y punto de en medio un clavo ó estylo de hierro, o de madera, derecho, liso, y delgado de una tercia de largo justa, y levantado a nivel como se podra nivelar con un hilo delgado de que cuelgue algún pequeño peso [...] mirarse ha con atención después de salido el Sol, la parte y punto de la raya del círculo mayor por donde la sombra del estylo viniere a meterse toda en él [...] y habiendo tomado los dichos dos puntos de la entrada y salida de la sombra en cada uno de los círculos, echarase otro punto tercero en la circunferencia de cada uno de ellos, en medio de los primeros [...] y quitando el stylo de su lugar, poner ha una regla bien ajustada, desde el punto de en medio de un círculo, hasta el del otro y tirarse ha una línea larga que atraviere los círculos, y el plano que se llamará Línea Meridiana, porque yra derecha del Norte al Mediodía.⁴³

Una variante simplificada de este método la describe y dibuja Juan de Arfe y Villafañe con gran sencillez en su tratado *De varia commensuracion para la esculptura, y architectura*.⁴⁴

El procedimiento que describe Juan de Arfe es muy sencillo de realizar: basta clavar un perno o estylo aplomado en un punto (A) de una superficie plana y nivelada, situada en un lugar despejado, para evitar sombras cercanas. Se marca sobre la misma el extremo de la sombra arrojada por el perno (B) antes del mediodía, trazando después una circunferencia de centro A y radio AB. A continuación hay que esperar a que el extremo de la

41 Roiz, 1575.

42 Esteve, 2004, 247.

43 López de Velasco, *Instrucción y advertimientos...*, BNE, Mss/3035, 40r-41.

44 Arfe, 1585, 26.

sombra del perno vuelva a coincidir con algún punto de la circunferencia (C), cosa que ocurrirá después del mediodía. La mediatriz —perpendicular por el punto medio— del segmento BC es la línea meridiana o dirección norte-sur.

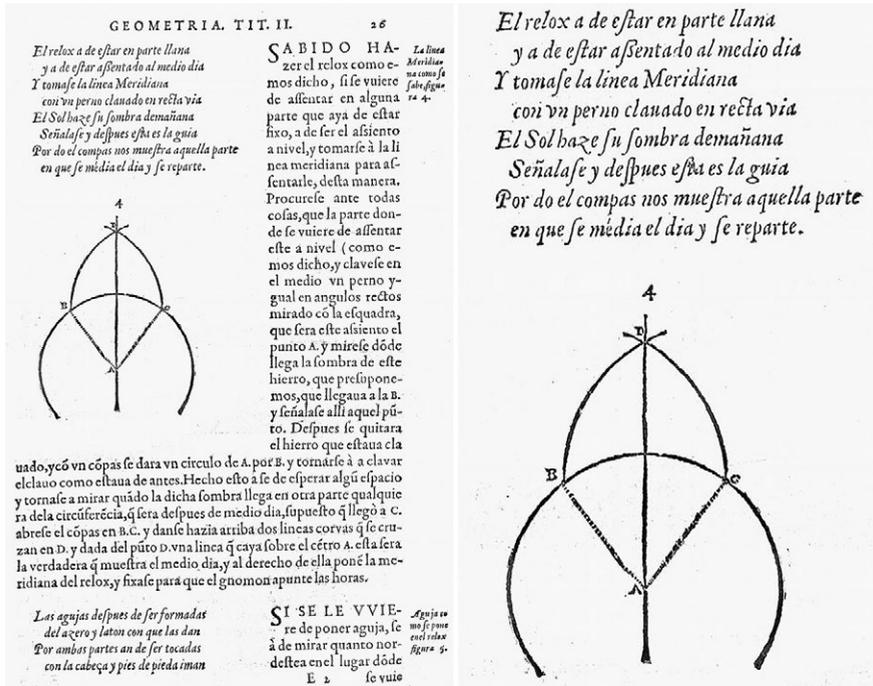


Figura 1. Trazado de la línea meridiana según Arfe y Villafañe, 1585.

Para realizar la reconstrucción virtual de los instrumentos se han deducido sus dimensiones considerando que la vara castellana equivale a 83,6 cm. El primer instrumento estaría compuesto por un tablón rígido de 83,6 x 83,6 cm («una vara en quadro»), con dos circunferencias concéntricas dibujadas sobre el mismo de 55,8 y 74,4 cm de diámetro («un circulo estara abierto una tercia de vara de medir de punta a punta y para el otro tercio y medio»), y un estilo o gnomon de 27,9 cm de longitud («de una tercia de largo justa»), clavado en el centro de las circunferencias.

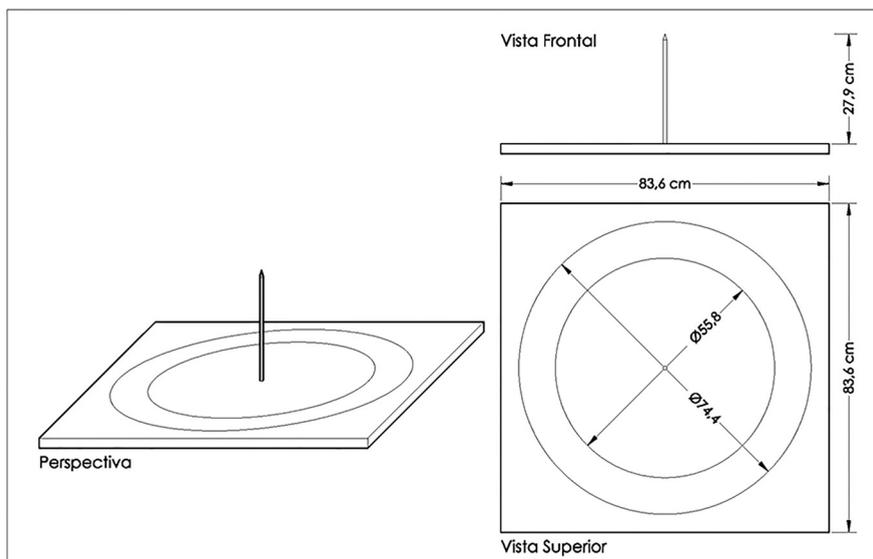


Figura 2. Definición geométrica del instrumento para trazar la línea meridiana, según López de Velasco.

Como explica la Instrucción, una vez nivelado el instrumento, para lo que probablemente se aplomase el gnomon o estilo,⁴⁵ antes del mediodía había que marcar los puntos donde el extremo de la sombra del estilo intercepta a los círculos mayor y menor (figura 3, A' y A). Por la tarde había que repetir la operación señalando donde la sombra del estilo intercepta de nuevo ambos círculos (figura 3, B y B'). La línea meridiana es la que pasa por los puntos medios (M y M') de AB y A'B'. Como comprobación de que el trazado era correcto había que verificar que, una vez retirado el estilo, M y M' estaban alineados con el punto donde este estuvo alojado (centro de los círculos, O en la figura 3), así como con el punto donde la sombra tuvo menor longitud. Obsérvese que cuando el extremo de la sombra del

45 Entre las distintas versiones impresas de las instrucciones hay variantes sutiles. Así por ejemplo, para asegurarse la perpendicularidad entre el gnomon y el tablero base, si en la primera edición (1577-1578) López de Velasco aconsejaba usar una plomada, en ediciones posteriores recomendaba verificar con el compás la equidistancia de la punta del estilo con respecto a los círculos trazados sobre el plano del instrumento (método más preciso). Véase Portuondo, 2013, 261. Estando de acuerdo que este método del compás es más preciso para verificar la perpendicularidad entre el estilo y el plano base del instrumento, lo cierto es que esto por sí solo no garantiza la horizontalidad de dicho plano, lo que puede realizarse con una plomada situada sobre el estilo.

estilo está en los puntos A y B, la elevación del Sol es de 45 grados, puesto que el radio del círculo menor es igual a la longitud del estilo. Los datos registrados en el instrumento debían ser trasladados a un papel o pergamino, dos líneas a tinta: una de igual longitud que la mínima sombra arrojada por el estilo (a medio día, con el Sol a 90 grados de elevación), la otra línea «con la largura del estylo desde la rayz y nacimiento del, hasta lo alto, sin lo que estuuiere metido en el plano donde estuuiere hyncado». Finalmente había que indicar por escrito a qué correspondía cada una de estas dos líneas, así como indicar si la sombra del estilo cayó al norte o al sur, anotando la fecha completa —día, mes y año— de la observación.

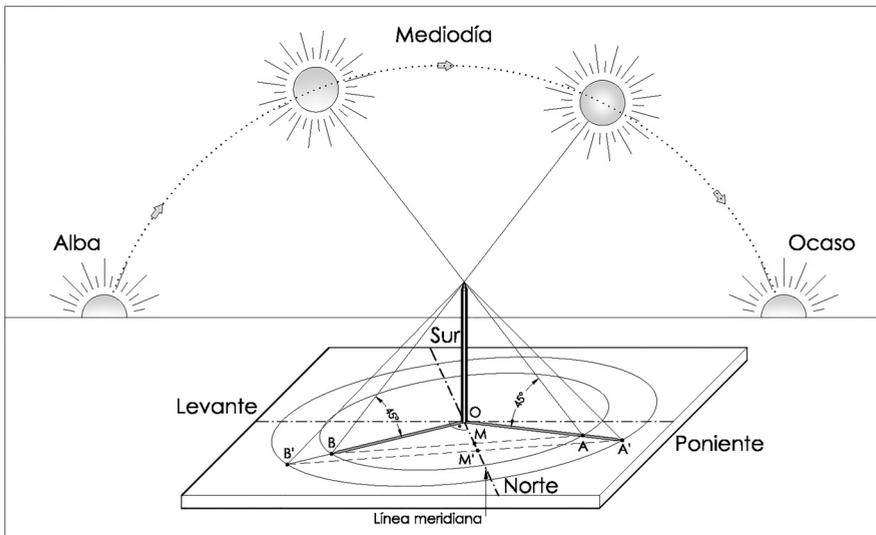


Figura 3. Explicación del método para trazar la línea meridiana, basado en la *Instrucción para la observación de los eclipses...* de Juan López de Velasco.

En segundo lugar, López de Velasco daba instrucciones para la construcción de otro instrumento que habría de servir para registrar el eclipse lunar, midiendo la sombra de la Luna sobre el utensilio al comienzo y al término del mismo:

En un tablero que sea de largo como una vara de medir y de ancho como una tercia y quatro ó seys dedos de más; se hará un medio círculo en esta forma: pondrase el pie del compás en el medio del largo del uno de los mayores lados, un dedo u dos a

dentro de la orilla no más: y con el otro pie abierto de punta a punta una tercia justa [...] si la sombra cayo de la parte de septentrión el instrumento mira al sur ó Mediodía y al contrario si la sombra yva al sur el instrumento mire al norte, de manera que al lado largo de junto al estylo quede en lo alto y el otro lado largo al contrario arrimado todo sobre la línea del plano que va de Oriente a Poniente.⁴⁶

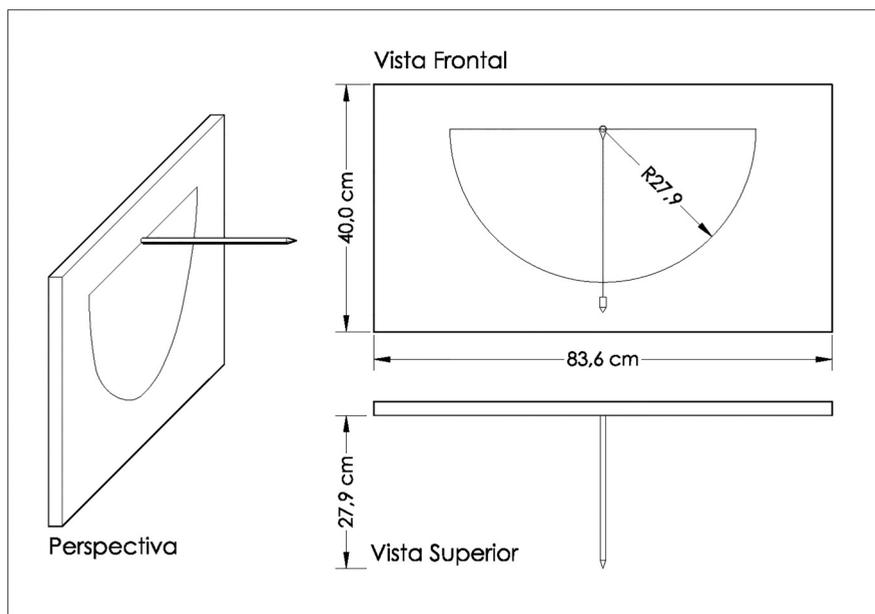


Figura 4. Definición geométrica del instrumento para registrar el eclipse lunar, según la *Instrucción para la observación de los eclipses...* de Juan López de Velasco.

Este instrumento debía situarse en posición vertical («de canto»), perpendicular a la línea meridiana (en la dirección este-oeste), con el estylo en la parte superior. López de Velasco indica que es necesario orientarlo según donde haya caído la sombra durante el día, en la determinación de la línea meridiana. Si la sombra solar del estylo en el primer instrumento cayó hacia el septentrión (norte), como en la figura 3, hay que orientar este instrumento con el estylo hacia el mediodía (sur), como se muestra en la figura 5. En caso contrario, el instrumento se situará con el lado del estylo mirando hacia el norte. De esta forma se garantizaba que la cara del instrumento

46 López de Velasco, *Instrucción y advertimientos...*, BNE, Mss/3035, 41.

mirase a la mitad del orbe celeste donde en la tarde del eclipse estaría la Luna.⁴⁷ Tomando la vara castellana igual a 83,6 cm, las dimensiones del segundo instrumento eran 83,6 cm de largo («que sea de largo como una vara de medir») y aproximadamente 40 cm de alto («de ancho como una tercia y quatro ó seys dedos de más»). Sobre una de las caras del instrumento se dibujaba una semicircunferencia con el centro a unos 8 cm de uno de los bordes mayores («pondrase el pie del compás en el medio del largo del uno de los mayores lados, un dedo u dos a dentro de la orilla no más»), y 27,9 cm de radio («de punta a punta una tercia justa»). En las figuras 4 y 5 se reproduce este instrumento, una pequeña plomada sujeta al estilo sería suficiente para asegurar la verticalidad del mismo.

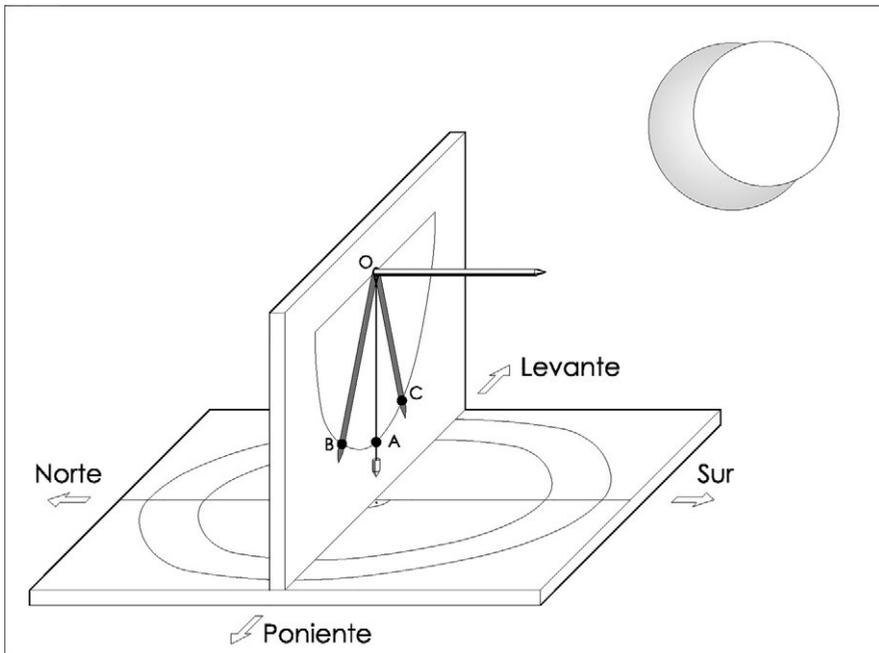


Figura 5. Explicación del procedimiento para registrar el eclipse lunar, según la *Instrucción para la observación de los eclipses...* de Juan López de Velasco.

⁴⁷ Portuondo, 2013, 261.

Durante la observación, además de cronometrar la duración del eclipse, se debían marcar en este instrumento la sombra lunar del estilo sobre el tablón, al comienzo y al final del eclipse, así como la línea vertical indicada por la plomada. Uno de los inconvenientes del método era determinar con exactitud cuándo comenzaba y finalizaba el fenómeno, por lo que se recomendaba la presencia de varios observadores para que estableciesen dichos momentos de manera consensuada.⁴⁸

En la versión impresa de la Instrucción de 1581, que reproduce García de Céspedes en su *Hidrografía*, segunda parte de su *Regimiento de navegación*,⁴⁹ el instrumento que se describe para el registro del eclipse lunar difiere del que acabamos de mostrar según la Instrucción Real. En la obra de Céspedes se habla de un instrumento a dos caras, con una semicircunferencia y un estilo que en cada lado del tablero. En esta variante del instrumento, al registrarse las dos caras, no era necesario orientarlo al norte o al sur dado que se medía la sombra lunar por ambas caras.

Consideraciones finales

La organización administrativa de los dominios de Felipe II en el Nuevo Mundo, así como zanjar las disputas entre los imperios español y portugués como consecuencia de las tensiones políticas sobre la línea de demarcación; requería disponer de unas detalladas y precisas representaciones de esos territorios, así como su ubicación respecto al resto del mundo, para lo que era necesario determinar las coordenadas geográficas de latitud y longitud de cuantos más lugares mejor. Ya desde la Antigüedad, la obtención de la de latitud se relacionó directamente con la observación del Sol durante el día o de la estrella Polar durante la noche. El problema de la determinación de la longitud, científica y tecnológicamente más complicado, constituyó una de las mayores preocupaciones científicas durante todo el siglo XVI. Juan López de Velasco, primer cosmógrafo-cronista mayor del Consejo de Indias, se propuso determinar las longitudes mediante encuestas, estableciendo un procedimiento fiable para calcularlas. Entre los métodos empleados destaca el basado en la observación de los eclipses de Luna, siguiendo la estela de su antecesor, Alonso de Santa Cruz. La importancia

48 Edwards, 1969, 20. Portuondo, 2013, 264.

49 García, 1606, 162-165.

de este proyecto radica, especialmente, en que su ejecución significó la puesta en marcha del primer plan sistemático de observación astronómica a escala intercontinental.⁵⁰ Sin embargo, no sería hasta bien entrado el siglo XVIII cuando se logró medir exactamente la longitud, estableciéndose un método práctico a partir de que se pudo contar con cronómetros transportables, que permitieron una medición precisa del tiempo en cualquier lugar.⁵¹

Experiencias como las de Juan López de Velasco para resolver el problema, supusieron un valioso trabajo para la historia de la cosmografía, así como un sistema altamente científico en el horizonte cultural del siglo XVI. Por su formación, disposición intelectual y gran volumen de trabajo, López de Velasco no se sentía llamado a realizar él mismo los complejos cálculos necesarios para determinar las coordenadas geográficas a partir de las observaciones astronómicas. Que en la Instrucción que redactó para la observación de los eclipses no se especificase cómo calcular la latitud y longitud a partir de los datos registrados, se debe a que dichos cálculos los realizarían los cosmógrafos en España.⁵² A los observadores solo se les pedía construir los instrumentos y realizar el registro del fenómeno siguiendo el protocolo especificado al detalle en la Instrucción. No existen datos que permitan afirmar que el propio López de Velasco realizase los complejos cálculos de trigonometría esférica que permitiesen la determinación de las longitudes a partir del registro de las observaciones enviadas al consejo.⁵³ Uno de sus sucesores en el cargo, Andrés García de Céspedes, llegó a sugerir que López de Velasco desconocía el procedimiento, al no encontrar indicio alguno de los cálculos necesarios en las instrucciones impresas ni en los papeles personales de su antecesor.⁵⁴

Durante los ocho años que estuvo al servicio del Consejo de Indias, antes de ser nombrado a instancias de su mentor Juan de Ovando, cosmógrafo-cronista, es evidente la ausencia en sus documentos de cualquier referencia a estudios o trabajos en el campo de la cosmografía o la geografía.

50 Lafuente y Moscoso, 1999, 126.

51 Si se transporta en un barco un reloj puesto en hora en el puerto de partida, de longitud conocida, la distancia en longitud entre el barco y el puerto puede hallarse a lo largo del viaje a partir de la diferencia entre lo que marca el reloj y la hora local, que podía obtenerse por la observación del sol, puesto que a cada 24 horas le corresponden 360 grados de longitud. En los siglos XVI y XVII la dificultad era conseguir cronómetros precisos y que se pudiesen transportar, lo cual no ocurrió hasta la invención del cronómetro marino de la mano de Harrison a principios del siglo XVIII.

52 Portuondo, 2013, 247 y 262.

53 Sobre la relación entre el registro del eclipse con el segundo instrumento y la longitud del lugar de observación, véase Portuondo, 2009.

54 Portuondo, 2013, 320.

Juan López de Velasco no aparece por estas fechas entre los cosmógrafos profesionales, pues adoleció de la preparación científica, y sobre todo matemática, indispensable en un auténtico cosmógrafo.⁵⁵

Aunque la historiografía suele atribuir a López de Velasco el método para el cálculo de longitudes mediante la observación de los eclipses según la Instrucción redactada por el cosmógrafo real, creemos que existen bastantes indicios para suponer que tanto el procedimiento de observación, como el diseño de los instrumentos y los cálculos tendentes a la obtención de las longitudes, no son obra suya. Con relación a la Instrucción, algunos autores atribuyen a López de Velasco el papel de difusor y eficaz organizador.⁵⁶ Efectivamente, es sabido que era un hombre de una gran formación humanística, pero probablemente carecía de la preparación matemática suficiente para formular un procedimiento que requería de altos conocimientos astronómicos y matemáticos,⁵⁷ dado que para obtener la longitud a partir de los datos de la observación era necesario realizar complejos cálculos matemáticos trigonométricos. Sus inclinaciones personales —y su trayectoria— fueron llevándole a sentirse más cómodo entre las palabras que entre los números.⁵⁸ El Consejo de Indias no le encargó directamente a López de Velasco la reforma de las cartas e instrumentos, sino que, aunque no de forma oficial, los primeros intentos de llevarla a cabo estuvieron dirigidos e inspirados por Juan de Herrera. López de Velasco tan solo fue requerido para emitir ciertos informes, más para cumplir con el formalismo legal que por lo que pudiera decir en ellos.⁵⁹

Por todo ello, es bastante probable que el procedimiento de observación y los instrumentos para llevarla a cabo se deban a su antecesor Alonso de Santa Cruz, cuyos documentos —«papeles»— le fueron entregados a López de Velasco; o bien al versátil y polifacético Juan de Herrera (1530-1597), maestro mayor de obras de su majestad y Aposentador Mayor de Palacio. El arquitecto de Felipe II fue responsable de hecho de la actividad cosmográfica de la corte desde la muerte de Santa Cruz (1567). Las cuestiones concernientes al establecimiento y corrección de mapas náuticos y a la preparación esmerada de los instrumentos de navegación —de una importancia capital, ya que los lazos marítimos entre España y las Indias

55 Berthe, 1998, 147 y 166.

56 *Ibidem*, 171.

57 Vicente, 1993.

58 Portuondo, 2013, 234.

59 Vicente y Esteban, 1991, 387.

dependían en buena medida de ellos— quedaron como un dominio reservado a Juan de Herrera, quien parece haber tenido una influencia decisiva sobre ese género de actividades.⁶⁰ Herrera no solo manifestó su interés por el problema de la medición de la longitud, sino que llegó incluso a obtener licencia real para la explotación de determinados instrumentos inventados para la navegación. El propio López de Velasco avaló en diversas ocasiones la labor de Juan de Herrera como fabricante de instrumentos astronómicos,⁶¹ como manifiesta en un informe sobre los cometidos de Jaime Juan en la misión cartográfica a Nueva España y Filipinas, en la que debía probar unos instrumentos inventados por Herrera para calcular la longitud, basados en la desviación magnética. En dicho informe el cosmógrafo-cronista, además de plantear la necesidad de comprobar los instrumentos de Herrera, da su respaldo al arquitecto:

en el uso de ellos [los instrumentos inventados por Herrera] no se puede juzgar sin verlos y examinarlos, aunque si son los instrumentos que a hecho Joan de Herrera maestro mayor de las obras de Su Majestad, bien se pueden tener por ciertos y bien entendidos [...]⁶²

Resulta cuanto menos extraña la ardorosa defensa que hace López de Velasco de los instrumentos del arquitecto, sin que previamente se hubiesen examinado ni comprobado. El Consejo de Indias expresó al propio Felipe II su disconformidad con la opinión del cosmógrafo-cronista sobre la corrección de los mismos. Desafortunadamente, no nos han llegado pruebas sobre su utilidad y excelencia,⁶³ por lo que cabe suponer que no alcanzasen el éxito previsto.⁶⁴ En cualquier caso, la dirección del proyecto encomendado por Felipe II a Jaime Juan parece haber escapado al control de López de Velasco, a quien no se consultó sino por lo que toca a la forma.⁶⁵

60 *Ibidem*, 401-407, citado en Berthe, 1998, 167.

61 Real Cédula a Juan de Herrera concediéndole licencia y monopolio durante los diez años siguientes para fabricar y utilizar unos instrumentos por él inventados para la navegación a Indias, El Pardo, 13 de diciembre de 1573, AGI, Indiferente, 426, L.25, 275r-276r.

62 Informe del cosmógrafo-cronista mayor de Indias Juan López de Velasco, con instrucciones sobre lo que debería hacer Jaime Juan, Madrid, 12 de febrero de 1583, Archivo General de Simancas (AGS), Guerra y Marina (Guerra Antigua), legajos 142, 147, 151, y Mar y Tierra, legajo 1682. Publicado en Vicente y Esteban, 1991, 424.

63 Vicente y Esteban, 1991, 390.

64 Cervera, 1997, 150.

65 Berthe, 1998, 167.

A dicha misión corresponde la observación del eclipse de 1584 en Ciudad de México. Del análisis de la documentación que se conserva en el Archivo de Indias, se desprende que la observación se llevó a cabo siguiendo un procedimiento muy similar al descrito en las Instrucciones de López de Velasco, cuya primera copia impresa se emitió en 1577. Los dibujos de 1584 revelan una gran similitud entre los instrumentos utilizados en la observación de Ciudad de México y los descritos por López de Velasco, cuya reconstrucción ha motivado este artículo. Dado que Jaime Juan llevaba los instrumentos de Herrera para el cálculo de la longitud en el mar basados en la desviación magnética, es bastante probable que los que utilizó en Ciudad de México para la observación del eclipse de 1584 fuesen proporcionados por la misma persona, inspirador y responsable científico de la misión.

Sin restar importancia a la labor cosmográfica de Alonso de Santa Cruz, lo cierto es que su estilo giraba en torno a la vertiente descriptiva e histórica de la disciplina, Herrera en cambio optó por la rama matemática e instrumental de la cosmografía, lo que por otra parte evidencia los inicios de la separación entre la corriente descriptiva y la matemática que durante la cosmografía del Renacimiento se habían desarrollado de forma conjunta.⁶⁶

Por todo lo expuesto, creemos que hay bases para apoyar la intervención de Juan de Herrera en el diseño de los instrumentos descritos en la Instrucción de los eclipses. Sin embargo, cabe señalar que esta tesis de la participación del arquitecto de Felipe II en la ideación de los instrumentos descritos por López de Velasco no ha sido señalada en las fuentes consultadas, con la sola excepción del trabajo citado de Vicente y Esteban, siendo generalizada la atribución de la invención al cosmógrafo real.

A pesar de los intentos de estos eminentes hombres de ciencia para la determinación exacta la longitud y el subsiguiente proyecto para completar el mapa del Nuevo Mundo, el problema de las longitudes, «límite puesto por Dios a la inteligencia humana»,⁶⁷ seguiría sin resolverse hasta el siglo XVIII.

Recibido el 28 de enero de 2015
Segunda versión el 22 de enero de 2016
Aceptado el 3 de marzo de 2016

⁶⁶ Portuondo, 2013, 106 y 120, citado en Sánchez, 2010, 735.

⁶⁷ Rey, 1951, 98.

Referencias bibliográficas

- Arfe y Villafañe, Juan de, *De varia commensuración para la escultura y arquitectura*, Sevilla, Andrea Pescioni y Juan de León, 1585.
- Berthe, Jean-Pierre, «Juan López de Velasco (ca. 1530-1598), cronista y cosmógrafo del Consejo de Indias: su personalidad y su obra geográfica», *Relaciones*, 75, XIX, Zamora, Michoacán, 1998, 142-172.
- Cerezo Martínez, Ricardo, *La cartografía náutica española en los siglos XIV, XV y XVI*, Madrid, CSIC, 1994.
- Cervera Vera, Luis, «Instrumentos náuticos inventados por Juan de Herrera para la determinación de la longitud», *Llull*, 20, Zaragoza, 1997, 143-160.
- Claret de Fleurieu, Charles-Pierre; Bermejo Díaz, Antonio C. y Jiménez Fuentes, Juan Enrique, *En busca de la longitud*, Santa Cruz de Tenerife, Ediciones Idea, 2006.
- Comellas García-Llera, José Luis, *El cielo de Colón: técnicas navales y astronómicas en el viaje del descubrimiento*, Madrid, Tabapress, 1991.
- Cuesta Domingo, Mariano (coord.), *Descubrimientos y cartografía en la época de Felipe II*, Valladolid, Universidad de Valladolid, 1999.
- «Alonso de Santa Cruz, cartógrafo y fabricante de instrumentos náuticos de la Casa de Contratación», *Revista Complutense de Historia de América*, 30, Madrid, 2004, 7-40.
- Edwards, Clinton R., «Mapping by Questionnaire: an Early Spanish Attempt to Determine New World Geographical Position», *Imago Mundi*, 23, Londres, 1969, 17-28.
- Esteban Piñeiro, Mariano, «Los oficios matemáticos en la España del siglo XVI», en Navarro-Brotons, Víctor (coord.), *Actes de les II Trobades d'Història de la Ciència i de la Tècnica*, Barcelona, Institut d'Estudis Catalans, 1993, 239-252.
- «Instituciones y oficios matemáticos en la España del siglo XVI», en *Los orígenes de la ciencia moderna*, Seminario de Historia de la Ciencia, Actas XI y XII, Santa Cruz de Tenerife, Fundación Canaria Orotava de Historia de la Ciencia, 2004, 13-43.
- Esteve Secall, Carlos E., «Aspectos histórico-gráficos de una observación a escala intercontinental: las instrucciones del cosmógrafo López de Velasco», *XVI Congreso Internacional de Ingeniería Gráfica*, Libro de Actas, Universidad de Zaragoza, 2004, 245-254.
- Fartos Martínez, Maximiliano; Velázquez Campo, Lorenzo y Almarza Meñica, Juan Manuel, *La filosofía española en Castilla y León: de los orígenes al Siglo de Oro*, Valladolid, Secretariado de Publicaciones, Universidad de Valladolid, 1997.
- García de Céspedes, Andrés, *Regimiento de navegacion q mando haser el rei nvestro señor por orden de sv conseio real de las Indias*, Madrid, Juan de la Cuesta, 1606.

- Goodman, David C., *Poder y penuria: gobierno, tecnología y sociedad en la España de Felipe II*, Madrid, Alianza, 1990.
- Lafuente González, Antonio y Moscoso Saravia, Javier, *Madrid, ciencia y corte*, Madrid, CSIC, 1999.
- Millán de Benavides, Carmen, *Epítome de la conquista del Nuevo Reino de Granada: la cosmología española del siglo XVI y el conocimiento por cuestionario*, Bogotá, Pontificia Universidad Javeriana, 2001.
- Navarro Brotons, Víctor, *Disciplinas, saberes y prácticas: Filosofía natural, matemáticas y astronomía en la sociedad española de la época moderna*, Valencia, PUV, 2014.
- Pereda Espeso, Felipe y Marías Franco, Fernando (eds.), *El atlas del rey planeta: La «Descripción de España y de las costas y puertos de sus reinos» de Pedro Teixeira (1634)*, San Sebastián, Nerea, 2002.
- Portuondo, María M., «Lunar Eclipses, Longitude and the New World», *Journal of the History of Astronomy*, 40, 3, 140, Cambridge, 2009, 249-276.
- *Ciencia secreta. La cosmografía española y el Nuevo Mundo*, Madrid, Iberoamericana Vervuert, 2013.
- Rey Pastor, Julio, *La ciencia y la técnica en el descubrimiento de América*, Buenos Aires, Espasa Calpe, 1951.
- Rodríguez-Sala y Muro, María Luisa, *El Eclipse de Luna. Misión Científica de Felipe II en Nueva España*, Huelva, Universidad de Huelva, Instituto de Astronomía de la UNAM y Academia Mexicana de las Ciencias, 1998.
- Roiz, Pedro, *Libro de los Relojes Solares*, Valencia, Pedro de Huete, 1575. (Edición facsímil: Pontevedra, El Cuadrante, 1980).
- Sánchez Martínez, Antonio, «La institucionalización de la cosmografía americana: la Casa de la Contratación de Sevilla, el Real y Supremo Consejo de Indias y la Academia de Matemáticas de Felipe II», *Revista de Indias*, LXX, 250, Madrid, 2010, 715-748.
- «Portuondo. 2009. Secret Science: Spanish Cosmography and the New World» (reseña bibliográfica), *Theoria. Revista de teoría, historia y fundamentos de la ciencia*, 26, 70, San Sebastián, 2011, 106-109.
- Spate, Oskar Hermann Khristian, *The Spanish Lake*, Canberra, Anu E Press, 1979.
- Vicente Maroto, María Isabel, «Juan de Herrera, un hombre de ciencia», en Aramburu-Zabala, Miguel Ángel (dir.), *Juan de Herrera y su influencia. Actas del simposio, Camargo, 14/17 julio 1992*, Santander, Universidad de Cantabria, 1993, 79-90.
- Vicente Maroto, María Isabel y Esteban Piñeiro, Mariano, *Aspectos de la ciencia aplicada en la España del siglo de oro*, Valladolid, Junta de Castilla y León, 1991.