

INSTRUMENTACIÓN, CIENCIA Y EPISTEMOLOGÍA: LA RELEVANCIA DE LA OBSERVACIÓN NOVOHISPANA DEL ECLIPSE LUNAR DE 1584

HÉCTOR VELÁZQUEZ FERNÁNDEZ*

Resumen

Este texto destaca la instrumentación utilizada por los cosmógrafos reales Jaime Juan, Francisco Domínguez de Ocampo, y el armero y polvorista Cristóbal Gudiel, enviados por Felipe II a la Nueva España para el registro de la latitud de la Ciudad de México, con ocasión del eclipse lunar del 17 de noviembre de 1584. A diferencia de los instrumentos científicos que se usarían en el siglo xvii (que suponían la manipulación humana para la obtención de datos para conocer la naturaleza, con el uso de bombas de aire, telescopios, microscopios, barómetros, etcétera), los instrumentos del siglo xvi fueron más bien de carácter *matemático*; pues con los relojes solares, el astrolabio o los sextantes se intentaba mostrar una regularidad inserta en la naturaleza, inicialmente escondida y que los instrumentos reflejarían transparentemente. En el siglo xvi los instrumentos científicos pretendían encontrar respuestas y resolver problemas, no *descubrir* cosas, o mostrar las causas del funcionamiento del mundo (algo más propio de la *filosofía natural* del siglo xvii). La observación del eclipse de 1584 en la Nueva España confirmó la diferencia entre los instrumentos

* Universidad Panamericana, hvelazqu@mx.up.mx

científicos que son útiles cuando se les ajusta y dirige, y los que no dejan de ser instrumentos en ningún momento.

Palabras clave: Ciencia novohispana, instrumentos científicos, modernidad, experimentación, Eclipses lunares.

Abstract

Unlike the scientific instruments that used in the 17th Century, which assumed human manipulation as necessary to obtain data to show the causes of the operation of the world (air pumps, barometers, telescopes, etc.), the instruments used in the 16th Century were of so called “mathematical character”: they tried to unveil an inherent regularity in nature, that the instruments would display transparently. The instruments used by the Royal cosmographers Jaime Juan and Francisco Domínguez de Ocampo, and the gunsmith Cristóbal Gudiel, sent to the New Spain by Felipe II to calculate the latitude of Mexico City, on occasion of the lunar eclipse of November 17, 1584 (solar clocks, astrolabes, or sextants) show the difference between the role ascribed to scientific instruments in the transition of the century.

Key words: Science in America, Scientific instruments, Modernity, Experimentation, Lunar eclipses.

Introducción: hacia la ciencia novohispana

Durante varios siglos, y el *xvi* no podía ser la excepción, las misiones científicas ordenadas por las coronas europeas tuvieron, además de una intención cultural, una finalidad geográfico-política: los dominios mejor explorados eran más fáciles de gobernar. Ante una época en la que se sucedieron interminables descubrimientos geográficos que preparaban la conquista de nuevos territorios, era imperante un conocimiento a detalle de la localización, extensión y características de las nuevas extensiones de tierra incorporadas en las conquistas europeas, y en particular de la América recién descubierta.

En este contexto, la aplicación y el mejoramiento de los métodos conocidos para la localización y ubicación geográfica de los territorios fue una tarea ampliamente desarrollada por los cosmógrafos europeos, siguiendo las reglas científicas en uso.

Durante el *siglo xvi* el perfeccionamiento europeo de la instrumentación científica, y su difusión y aplicación en América, traería como consecuencia una

sistematización sin par de los datos sobre la naturaleza, el cosmos y la geología, entre otras disciplinas. En el siglo XVI la ciencia europea inició la aplicación de los conocimientos cosmográficos europeos al entendimiento de los territorios recién descubiertos en América.

Mientras la ciencia europea del XVII ya presente en nuestro continente se preocupó más de la clasificación botánica y zoológica de la naturaleza descubierta, y del desarrollo de las técnicas minera y metalúrgica para el aprovechamiento de los recursos naturales o de la modernización de los conocimientos médicos y astronómicos, la ciencia europea del XVI presente en América tuvo sus mejores conquistas en la astronomía, las matemáticas y la ubicación cosmográfica de los territorios conquistados.¹

Es estas líneas intentaré destacar la peculiaridad de la instrumentación utilizada al final del siglo XVI en la Nueva España para el registro de la latitud de la Ciudad de México, por su relevancia epistemológica al servir de medio para el conocimiento de las características ontológicas de la realidad física; a diferencia de los instrumentos científicos del XVI para cuya utilidad se suponía una manipulación humana que permitiera la obtención de los datos para conocer la naturaleza.

La importancia del eclipse lunar de 1584

Casi al finalizar el siglo XVI, en 1584, Felipe II encomendó a un grupo de españoles practicantes de diversas disciplinas práctico-científicas, la observación de un eclipse lunar que se registraría el 17 de noviembre de ese año.²

La intención de tal encomienda era aprovechar ese fenómeno celeste para deducir la latitud geográfica de la ciudad de México, aplicando un método de uso corriente en la cosmografía del siglo XVI para esos fines.

Como es de entenderse, era de sumo interés para La Corona española ubicar con la máxima exactitud posible los territorios explorados y conquistados, y contar con mediciones cartográficas confiables que superaran las realizadas

¹ Durante ese periodo, casi todos los matemáticos fueron a la par astrónomos y en cierto sentido también astrólogos. El desarrollo de calendarios también se practicó en la ciencia novohispana: Alejo García publicó en 1579 su *Kalendario perpetuo*, que era uno de los primeros cómputos cronológicos útiles, entre otras cosas, para la determinación de las fechas religiosas. Cf. Elías Trabulse, "Historia de la ciencia", en *Historia en México. 1. Siglo XVI*. México, CONACYT-FCE, 1985, p. 57.

² Sigo la descripción del evento según el relato de la excelente obra María Luisa Rodríguez, *El eclipse de luna. Misión científica de Felipe II en nueva España*. Huelva, Universidad de Huelva, 1998.

por los primeros exploradores, navegantes y estudiosos novohispanos, apenas concluida la Conquista. Era común que los registros geográficos anteriores a la misión enviada por Felipe II adolecieran de graves errores de cálculo, debido a que fueron hechas a partir de mediciones y estimaciones realizadas a simple vista, sin la ayuda de una teoría general o marco global que diera sentido al uso y aplicación de los datos que aportaban los instrumentos de medición con que se contaba en ese momento.

La tradición instrumental europea del siglo XVI, según la cual se llevaría a cabo la medición mandada por La Corona española, distinguía perfectamente las diferencias existentes entre las técnicas para medir realidades *cercanas* (como las superficies para el cultivo y la construcción, o la altura y distancia entre los árboles, casas, montañas o cerros), respecto de las técnicas e instrumentos para medir realidades *lejanas* (como las estrellas, las órbitas planetarias o los cometas); así como las particularidades que distinguía la medición de lo cercano y lejano, en comparación con la medición de lo *pequeño* (aquello que apenas y se percibía por la disección que con fines didácticos se hacía tanto de seres vivos como de cadáveres).

En cuanto a las técnicas e instrumentos para medir lo *lejano*, el registro del eclipse lunar de noviembre de 1584 representó un hito en la naciente ciencia novohispana y marcó un parámetro a seguir en posteriores usos de instrumentos científicos y particularmente astronómicos, cuyo máximo rendimiento se alcanzaría hasta muy entrada la ciencia mexicana de los siglos XVII y XVIII. No es que antes de esa fecha no se hubieran intentado o logrado observaciones astronómicas novohispanas, sino que con ocasión de esa medición en particular, se implementó una metodología, una interpretación teórica, un control e instrumentación tan acabada y exacta en comparación a los datos que se tenían hasta entonces, que se convirtió en modelo y punto de partida para el desarrollo de las técnicas e interpretaciones científicas de los siglos posteriores dentro del virreinato.

La instrumentación científica europea en el siglo XVI

Los intereses prehispánicos en las observaciones astronómicas difícilmente estuvieron desligados de un enfoque preponderantemente religioso, y en particular dependían del desarrollo en torno a los calendarios. Los habitantes prehispánicos no sólo realizaban descripciones ideográficas de los fenómenos celestes (“La Luna es comida”, era una descripción común durante un eclipse lunar), sino que fueron muy cuidadosos en el registro temporal de los acontecimientos celestes.

Como desarrollaron una astronomía apegada a sus necesidades ideológicas, el hombre ocupaba el lugar más bajo en la jerarquía de los fenómenos celestes, y quedaba a merced de la necesidad con que ocurrían esos fenómenos.

En contraste con el criterio prehispánico, la observación astronómica europea que sería importada a la Nueva España a partir del siglo XVI, ligaba fuertemente la teoría y las artes científicas con la solución de problemas prácticos, muchas veces originados por encargos políticos que buscaban en la labor científica un auxilio que facilitara la administración pública. Entre esos encargos, destacaban —como ya se mencionó— la demarcación de las tierras recién descubiertas o conquistadas, así como el incremento de la información náutica, geográfica y cosmográfica.

En este tenor, las descripciones terrestres de la Nueva España y del Perú, fueron algunas de las primeras actividades científicas reguladas por el Consejo de Indias. Con la redacción y difusión de las llamadas *Relaciones geográficas* (que recogían diversas actividades interdisciplinarias promovidas por Felipe II), se intentó la ubicación correcta de los nuevos grandes territorios y la catalogación de sus recursos naturales.

Durante mucho tiempo la obtención de estos datos estuvo entre las prioridades del Consejo de Indias; y por ello se fomentó dentro del Consejo el cultivo del estudio de la toponimia, la geografía física y la historia natural. Aunque las *Relaciones geográficas* intentaban determinar las reglas para obtener la latitud y longitud de los territorios mediante la observación astronómica, la técnica más exacta para determinar la longitud no se conseguiría sino hasta muy entrada la ciencia moderna.³

Con el incremento de la navegación hacia las tierras conquistadas, se hizo inútil la técnica de orientación con base en el seguimiento de los litorales, lo que

³ La solución definitiva a los problemas para establecer la longitud no vendría sino hasta la invención del cronómetro de bolsillo fabricado por John Harrison en 1759, quien después de intentar varios modelos de reloj que no sufrieran retrasos por la humedad o condiciones ambientales de alta mar —como respuesta al concurso convocado por el parlamento inglés en 1714 para dar solución a la imposibilidad de establecer con exactitud la hora en alta mar contrastada con la hora de partida—, presentó su célebre reloj H4 (Harrison 4), actualmente expuesto junto con otros de sus modelos previos en el Museo Naval de Londres, en Greenwich. Los retrasos sufridos por los relojes marítimos del momento provocaban graves errores de cálculo de posición y en ocasiones accidentes mortales. Al solucionar Harrison ese problema pasó a la historia por haber resuelto con el imponderable genio de su habilidad manual el método mecánico para calcular la longitud. Después de 1759 el hombre podía considerar completo su proyecto de medición terrestre: era capaz de establecer con el par de coordenadas cualquier posición de cualquier objeto en el Orbe terrestre. Cf. Dava Sobel, *Longitude. The true story of a lone genius who solved the greatest scientific problem of his time*. Londres, Harper Perennial, 2005.

obligó a iniciar una tradición de medición y uso de instrumentos que combinara cartografía con astronomía.⁴

Con este propósito, la Casa de contratación de Sevilla, por su parte, se convirtió en un centro de enseñanza especializada en el uso de instrumentos de observación y técnicas de ubicación tanto diurna como nocturna, aprovechando el conocimiento que los marinos tenían en la ubicación de posiciones en función de la observación astronómica. La intención era aprovechar el conocimiento de los marinos sobre el uso de astrolabios, lunarios, sextantes, octantes y otros recursos de observación con los que combinaban mediciones y relaciones trigonométricas para fijar posiciones.⁵

⁴ Desde el primer momento la geografía como ciencia se vio beneficiada por las exploraciones marítimas. Los viajes de españoles y portugueses rompieron la unidad territorial que se conservaba desde la Edad Media. Los primeros planos cartográficos del Golfo de México y del Océano Pacífico contenían descripciones rudimentarias, pero que servían de referencia confiable para los expedicionarios: Alonso Álvarez de Pineda recorrió la costa del Golfo de México hasta la desembocadura del Mississippi en 1519, Lucas Vázquez de Ayllón llegó en 1520 hasta los 32° de latitud y la armada de Hernán Cortés llegó hasta la isla de Terranova; Fortún Ximénez arribó por primera vez a la península de Baja California en 1533 y ese mismo año la expedición de Hernán Cortés llegó al cabo San Lucas, entre otros muchos descubrimientos que contribuyeron a las descripciones geográficas. Pero propiamente la primera cartografía novohispana fue elaborada por Francisco de Garay en 1521, delineando el primer mapa del Golfo de México; mientras que en 1527 Diego de Rivero realizó un plano de casi toda la Nueva España, a partir de los datos existentes. Con las descripciones de las expediciones de Cortés, Domingo del Castillo realizó un mapa de la costa del Pacífico en 1541. De este modo, apenas 25 años después de la Conquista, apareció el primer mapa completo de la Nueva España en la llamada colección de Ramusio. Ahí ya aparece Yucatán como península y no como isla; aunque en la edición de 1562 de la *Geographia* de Ptolomeo ya se incorporaban mayores precisiones en los datos. Y lo mismo ocurrió en los Mapamundis o Atlas de Ortelius, Blaeu o Mercator. Si se comparan estos registros con la carta general de la Nueva España hecha por Sigüenza a finales del siglo XVII, la insuficiencia de la cartografía del XVI radicaba en su incapacidad para establecer con precisión las posiciones de las ciudades o cursos de ríos, ante la carencia de coordenadas que lo permitieran. La latitud de la Ciudad de México fue precisada por el eclipse de Luna del 17 de noviembre de 1584 que se describirá en adelante, pero la longitud de la misma Ciudad no sería determinada sino hasta el siglo XVII por fray Diego de Rodríguez, al calcularla en 101° 27'30" al occidente de París. La dinámica social también influyó en la determinación de las cartas geográficas: la expansión colonial, las guerra de conquista de los pueblos que aún no estaban en dominio español, la creación de gubernaturas, alcaldías y comarcas, así como la Audiencia de 1527 y el Virreinato de 1534, influyeron fuertemente en la elaboración de los mapas del territorio novohispano. Por su parte, las divisiones territoriales eclesiásticas no eran del todo suficientes, pues generalmente no correspondían a las divisiones políticas, ya que seguían el criterio de división en provincias u obispados, según se tratar de órdenes religiosas o del clero secular. Cf. E. Trabulse, *Historia de la ciencia en México...*, pp. 53-55.

⁵ Entre los textos destacados de este periodo está el compendio *De la sphaera y el arte de navegar* escrito por Martín Cortés, que fue traducido a varios idiomas y ampliamente comentado

Dado que la técnica cosmográfica para determinar la ubicación geográfica de las posesiones españolas dependía de la observación de fenómenos astronómicos como los eclipses lunares y solares, las *Relaciones geográficas* pronto se convirtieron en *Instrucciones*, que regulaban técnicamente la observación de los eclipses en todo el reino español. Esto quiere decir que las observaciones seguían unas reglas perfectamente preestablecidas, de modo que no se dejara la práctica técnica al sentir particular de cada observador.⁶

Las peculiaridades de la misión científica enviada a la Nueva España en 1584

Felipe II encargó la misión a tres importantes personajes de la ciencia naciente novohispana: un cosmógrafo valenciano de nombre Jaime Juan y dos españoles, el cosmógrafo y geógrafo real Francisco Domínguez de Ocampo, y el destacado armero y polvorista real Cristóbal Gudiel. Entre los tres formaron un muy integrado equipo de trabajo interdisciplinar que abarcaba lo mismo conocimientos astronómicos que cosmográficos, geográficos y técnicos.

De entre los miembros del equipo, Domínguez de Ocampo era quizá el más experimentado en la observación de eclipses;⁷ mientras que Cristóbal Gudiel fue determinante en el diseño e implementación de los instrumentos para la observación del eclipse. Gudiel fue el primero de los tres en llegar a la Nueva España para la misión científica de Felipe II. Fue tal la destreza técnica mostrada desde su llegada que Gudiel muy pronto obtuvo la primera autorización novohispana para la explotación del salitre y la pólvora. Dentro de las tareas a su cargo en

por sus avances en materia de orientación astronómica; y el *Compendio del arte de navegar* escrito por Rodrigo Zamorano, que hacia finales del XVII incorporó la perspectiva copernicana para mejorar las tablas de declinación solar disponibles en la época.

⁶ Dentro de la actividad astronómica y como herencia del Renacimiento, había una curiosa simbiosis entre astronomía y astrología vinculada a la solución de problemas prácticos, en virtud de la cual se muestra una versión de la astrología como explicación del sentido de los fenómenos, más que de la buena o mala fortuna derivados de ella. De este enfoque se beneficiaron lo mismo la medicina que la agricultura, aunque la actividad de los *astrónomos-astrologos-matemáticos* era regulada por el Santo Oficio en lo tocante a los pronósticos y lunarios que circulaban, para que no se hiciera de ellos una interpretación que supusiera una violación del libre albedrío.

⁷ Fue un personaje seriamente preocupado no sólo en actividades científicas, sino de que las condiciones de trabajo de los indígenas no fueran inhumanas.

la fabricación e implementación del instrumento para la observación, se ocupó de ajustar el reloj de pesas que se utilizó durante la medición del eclipse.⁸

Desde el punto de vista astronómico, el eclipse total de Luna del 17 de noviembre de 1584, proyectó la sombra terrestre sobre la constelación del Toro, cerca del cúmulo de las Pléyades. El primer contacto de la sombra terrestre con la Luna fue a las 16:14 hrs., pero la Luna se encontraba a 210 de latitud, por lo que aún estaba por debajo del horizonte para cuando inició el fenómeno. A las 17:14 ya estaba completamente eclipsada y fue hasta las 17:57, al ocultarse el Sol, que la Luna fue visible sobre el horizonte, mostrándose totalmente oculta por la sombra de la Tierra.

El punto máximo del eclipse fue a las 18:01 cuando la Luna estaba apenas y por encima del horizonte. La salida de la Luna eclipsada fue avistada desde Texcoco hasta las 18:49 en que concluyó la totalidad del eclipse, con la Luna en 110 de altura. Casi una hora después se dio el último contacto de la sombra terrestre.

La Luna quedó de nuevo totalmente descubierta cuando estaba hacia 240 sobre el horizonte. Cinco horas y 32 minutos fue la duración total del fenómeno. Según las mediciones de los enviados de Felipe II, el registro del eclipse permitió ubicar a la Luna en 24° 43' sobre el horizonte, frente a los 24° 03' que establece el cálculo moderno. Tuvieron que pasar 409 años para que el 29 de noviembre de 1993 se volviera a eclipsar la Luna del mismo modo y en la misma región donde pudieron avistarlo los novohispanos del siglo XVI.⁹

⁸ Sigo el relato de las circunstancias y la metodología de la medición del eclipse contenida en M. L. Rodríguez, *op. cit.*, pp. 21-30. Esta obra contiene una reproducción facsimilar y una traducción comentada de los registros y explicaciones que los tres protagonistas de la misión científica enviada por Felipe II realizaron durante la medición del eclipse de luna con el que se determinó la latitud de la Ciudad de México.

⁹ *Ibid.*, pp. 33-36. Al mismo tiempo que la misión científica novohispana registró este fenómeno, en Europa Tycho Brahe se destacaba como el mejor astrónomo del Orbe (puede verse una valoración de los alcances de su astronomía en Guillermo Coronado, "Tycho Brahe: astronomía y cosmología", en *Revista de Filosofía de la Universidad de Costa Rica*, vol. xxxix, num. 99, Extraordinario, diciembre 2001, pp. 181-186). Algunos años antes del eclipse que nos ocupa, Brahe se había dado a la tarea de corregir los datos observacionales de las *Tablas Alfonsinas* que con sus graves errores impedían calcular la entrada del Sol en las constelaciones del Zodiaco, a pesar de que algunos de los datos de las tablas en uso se basaban en los trabajos de Copérnico. Tycho se esforzó incluso en la observación de los eclipses para ajustar con sus instrumentos (los mejores de Europa) las catalogaciones que erraban hasta por un mes, si se seguían las *Tablas Alfonsinas* (como fue el caso de la conjunción de Saturno y Júpiter en 1563). Otro problema para los cálculos exactos lo representaba la carencia de relojes con menos de 15 minutos de error, lo cual no pudo paliarse sino mucho tiempo después, con la invención hacia el siglo XVIII de los relojes o cronómetros transportables de alta precisión. Cf. Ana Rioja y Javier Ordóñez, *Teorías sobre el universo. I. De los Pitagóricos a Galileo*. Madrid, Síntesis, 1999.

La observación de eclipses no era una técnica útil para determinar posiciones geográficas en alta mar, no sólo por la complicación de fijar los instrumentos por los movimientos del oleaje, sino sobre todo por la poca frecuencia con que ocurren los eclipses. Por ello este recurso era mucho más útil como herramienta en tierra firme. La técnica para usarlo como referencia en la fijación de la latitud consistía en tomar la medición de diferentes fases de un eclipse a partir de un punto de longitud conocido, para compararlo después con las mediciones de esas fases tomadas desde el punto a partir del cual se quería establecer una longitud determinada. Bastaba con saber la posición del Sol o la Luna durante el eclipse para ubicar cualquier población y completar el dato de sus coordenadas.¹⁰

Los protagonistas de la expedición científica de Felipe II: Jaime Juan, Francisco Domínguez y Cristóbal Gudiel

Los cosmógrafos reales enviados por Felipe II a México tuvieron como primera misión en América la redacción de detallados catálogos donde daban cuenta de los eclipses y posiciones celestes,¹¹ como un paso previo para preparar la observación del eclipse de 1585.¹² Con el método de los eclipses se alcanzarían

¹⁰ En cierto sentido esta técnica usaba de un instrumento natural, más allá de la instrumentación artificial, cuya ventaja radica en sacar provecho de las nuevas potencialidades más allá del mero uso natural de un objeto. Un hacha por ejemplo, saca provecho de las potencialidades naturales de una piedra y una rama, y les dota de una función mucho más eficaz. Eso es lo propio de los instrumentos artificiales. En cambio, en el caso de la observación de un eclipse para determinar la latitud de un lugar, los científicos europeos y novohispanos reconocían un uso instrumental donde no media la técnica al mismo modo que en otras instrumentaciones de siglos posteriores.

¹¹ Un ejemplo del rigor de las instrucciones dadas por la Corona fue la *Instrucción para la observación del eclipse de la luna, y cantidad de las sombras que S. M. mandó hacer al año de mil y quinientos y setenta y siete, y los que se siguen en las ciudades y pueblos de Españoles y de Indias, para verificar la longitud y altura de los, que aunque pudiera haber otros medios matemáticos para ello, se han elegido por más fáciles los que se siguen*. Este documento, como otros semejantes, daban instrucciones precisas sobre el método y la instrumentación a implementar para la observación de los eclipses, para garantizar la uniformidad y buena calidad de las observaciones. Cf. M. L. Rodríguez, *op. cit.*, p. 39.

¹² Con ese criterio, Enrico Martínez publicó en México varios catálogos de eclipses avistables en la Nueva España, aunque el pionero de la astronomía teórica en América (al menos de quien tenemos testimonios más antiguos) fue fray Alonso de la Veracruz, quien en 1557 comentó al final de su *Physica speculatio* el texto astronómico *De sphaera*, escrito por el científico medieval Giovanni Campano de Novara; en ese texto, además de una puntual explicación del cosmos según la versión

durante los años subsiguientes mediciones muy acertadas, no sólo de la latitud de la Ciudad de México, sino de otras como Guadalajara, Puebla y Veracruz; y muchos de esos registros se mantuvieron vigentes hasta muy entrado el siglo XIX, cuando ya con otros recursos se afinaron las coordenadas correctas.

El valenciano Jaime Juan fue el responsable, como cosmógrafo real, del proyecto para observar el eclipse de Luna del 17 de noviembre de 1584. Entre las tareas que le fueron encomendadas en la *Instrucción* de Felipe II estaba el diseño y construcción de los instrumentos que debían usarse en las observaciones, la técnica para usarlos y los registros a tomar, entre otras tareas.¹³

De los tres miembros principales de la expedición científica, sólo Jaime Juan dejó la Nueva España al concluir la observación del eclipse, mientras que Domínguez del Campo y Cristóbal Gudiel desarrollaron en nuestro territorio su actividad profesional durante el resto de sus vidas.¹⁴

geocéntrica aristotélico-ptolemaica, Alonso de la Veracruz inicia las observaciones astronómicas con la intención de fijar coordenadas geográficas, entre ellas las de la Ciudad de México, aunque con un margen muy alto de error. Durante el siglo XVI la publicación de textos semejantes fue de uso corriente: en 1578 el matemático y astrónomo italiano Francisco Maurolyco publicó en México su *De sphaera, liber unus* en el que describe el modo y forma para el cálculo de posiciones lunares; mientras que en la *Instrucción náutica para navegar*, de Diego García de Palacio, publicada en 1587, se discutía la estructura del *sistema del mundo*; como se hacía también en la célebre *Historia natural y moral de las Indias*, publicada en Sevilla en 1590 por Joseph de Acosta, resumen insuperable de los datos compendiados hasta ese momento sobre el conocimiento del cosmos y la interpretación oficial de esos datos. Cf. E. Trabulse, *Ciencia y tecnología en el Nuevo Mundo*. México, FCE-Colegio de México, 1994, pp. 73-74.

¹³ Aunque estos documentos contenían descripciones detalladas para la observación astronómica, varias *Instrucciones* conservaron una preocupación más bien náutica. El primer eclipse observado que siguió rigurosamente las *Instrucciones* redactadas no con finalidad náutica, sino explícitamente astronómica, fue el del 26 de septiembre de 1577 observado desde Puebla de los Ángeles y San Juan de Ulúa, y simultáneamente en Madrid, Toledo, Sevilla y Valladolid. Al año siguiente se observó y midió uno más, simultáneamente en Puebla y Toledo. La redacción de *Instrucciones para la observación de eclipses* se convirtió en una regla estricta como una manera de homologar los criterios para el registro de los fenómenos y los datos arrojados por ellos. El cosmógrafo y cronista mayor de Indias, Juan López de Velasco, redactó una *Instrucción y advertimientos para la observación de los eclipses de Luna*, bajo cuyas reglas se observó un eclipse el 15 de septiembre de 1578. Este tipo de publicaciones eran de difusión obligada en todo el Imperio por medio de cédulas reales enviadas a las provincias americanas. Ahí mismo se ordenaba que los datos recogidos se enviaran al cosmógrafo real para que éste la incorporara a su geografía del Nuevo Mundo. Cf. E. Trabulse, *Ciencia y tecnología...*, pp. 72-73.

¹⁴ También colaboró con alguna tarea un poco más honorífica el doctor Pedro Farfán, miembro de la Real Audiencia, quien había fungido como oidor de la Nueva España en 1567 y llegó a ser Rector de la Universidad de México en 1569 y 1571. Es probable que fuera Pedro Farfán quien habitara las llamadas *casas reales*, en el centro de la Ciudad de México, desde cuyas azoteas

Aunque Jaime Juan pertenecía a cierta tradición de astrónomos-astrólogos que realizaban sus propias interpretaciones de los fenómenos celestes que observaban, su preocupación en este caso parece haber sido eminentemente científica.¹⁵

En función de la sombra del gnomon instalado para tal efecto, la medición astronómica de Jaime Juan arrojó los 19° y 13' de latitud, ya mencionados para la Ciudad de México, lo que constituyó el primer registro oficial escrito de esa coordenada para la capital de la Nueva España. Esta medición aventajó con mucho la referida por el Virrey Antonio de Mendoza, quien personalmente intentó una similar en 1541, a partir de varios eclipses de Luna avistados por él mismo.

Jaime Juan se sirvió de dos medios para fijar la hora en que concluyó el eclipse: la altitud equinoccial de la Luna y un cálculo en función de las estrellas fijas, con el auxilio de Betelgeuse, justo en el hombro de la Constelación de Orión.¹⁶

Por su parte, Francisco Domínguez y Ocampo se integró a otros científicos peninsulares que radicaron definitivamente en la Nueva España, y formaron una suerte de estamento muy unido. Los conocimientos con que Domínguez

fue estudiado el eclipse de Luna de 1584. Y en el avistamiento participó como testigo de honor el Arzobispo-Virrey Pedro Moya de Contreras.

¹⁵ La Corona española daba a la actividad científica un valor superior al mero registro experimental o empírico de datos. La sola experiencia proveía de datos estériles que no alcanzaban a responder a las inquietudes prácticas que debían resolverse a partir de los nuevos descubrimientos. En este sentido la experiencia matematizada, dentro del contexto de la astronomía, se convertía en cuantificación de observaciones, y es por ello que los eclipses se usaron para fijar la localización de las posesiones del Nuevo Mundo.

¹⁶ La hora que estableció con sus observaciones fue 7 horas, 20 minutos y 20 segundos para la técnica de la altitud equinoccial de la Luna; y de 7 horas, 22 minutos y 8 segundos para la técnica de las estrellas fijas. La referencia que servía como parámetro para la longitud era la Ciudad de Toledo, que en el siglo XVI funcionaba como referencia base (en diferentes épocas, otras ciudades operaban como meridianos cero: en la Baja Edad Media, Gibraltar y las Canarias; posteriormente al siglo XVI la Isla de Hierro, cerca de París; y finalmente a partir del siglo XIX, el Observatorio de Greenwich). Con un tercer método basado en una relación trigonométrica, Jaime Juan estableció la diferencia de meridianos entre la Ciudad de México y Sevilla. Jaime Juan no se mantuvo al margen de las interpretaciones astrológicas de ese fenómeno astronómico: en el manuscrito donde relata los resultados de las observaciones, apunta que debido a que el fenómeno ocurrió en la constelación de Tauro se vaticinaban ruinas y caídas de edificios, odios, enemistades y perturbaciones entre los eclesiásticos, y relacionaba a Tauro con calamidades para animales y reptiles. Según Jaime Juan, el hecho de que el eclipse durara cinco horas se traduciría en cinco meses de efectos indeseables, y refiere que los eclipses influyen más en realidades generales respecto a reinos y provincias, que sobre particulares, según "los astrólogos cristianos y doctos". Según refiere María Luisa Rodríguez siguiendo el texto de Jaime Juan, *Juizio astrológico del eclipse de la luna que aconteció en 17 de noviembre. Anno 1584*, f.2º.

contribuyó a la formación de la naciente ciencia mexicana abarcaban la geografía y la cosmografía como herramientas aplicadas a la solución de problemas sociales, así como el desarrollo de nuevas técnicas de producción metalúrgica. A su llegada a la Nueva España, Domínguez adquirió una pronta y amplia experiencia en la medición de longitudes y latitudes de territorios novohispanos; actividad que realizó durante 5 años. A partir de la reimpresión de una versión griega del *Almagesto* de Ptolomeo en 1535, Domínguez aplicó los criterios cosmográficos de esa obra para la medición de terrenos, dentro de la corriente del *humanismo geográfico*.

Además de catalogar y observar todos los eclipses de Sol y Luna ocurridos durante su vida profesional en la Nueva España, Domínguez y Ocampo envió instrucciones y técnicos a China para que realizaran la misma tarea. De estas misiones resultaron una serie completísima de tablas geográficas que describían ambos lados del Pacífico. Él mismo se encargó del diseño y la construcción de todos los instrumentos geográficos necesarios como cartas, agujas, relojes y todo tipo de utensilios para registrar la navegación hacia Perú, Filipinas y otras zonas.

Además de su labor cosmográfica, Domínguez y Ocampo intervino en los trabajos para evitar la inundación de la Ciudad de México en 1679, y ya en sus últimos años se dedicó a mejorar la explotación de plata en Taxco. Se sabe que su relación con los Virreyes era tirante, pues se oponía con frecuencia ante lo que juzgaba una obcecada pretensión de la autoridad novohispana por estar al tanto de todo lo que se sabía en la época sobre el comportamiento de la naturaleza y su explotación.

En realidad el único registro directo y completo con que contamos sobre su actividad científica es el relativo a la observación del eclipse de 1584; en esa ocasión su tarea consistió en la descripción del modelo y copia del instrumento con el que se midió el eclipse, así como la elaboración del plano para su registro. Ambos elementos fueron instalados por Domínguez y Ocampo en la azotea de las llamadas *casas reales*, en el centro de la Ciudad de México, no sin antes prever una medición preparatoria un día antes del eclipse para corroborar que los instrumentos y planos hubieran sido bien diseñados.¹⁷

El tercer gran protagonista de la misión de Felipe II, Cristóbal Gudiel, fue el primer contratista designado por La Corona para la elaboración de pólvora en la Nueva España. Por medio de la Real Hacienda, España convirtió esa actividad en una prioridad para el desarrollo de las nuevas conquistas de los territorios americanos. No sólo recibió Gudiel la primera autorización para el primer y por

¹⁷ Cf. M. L. Rodríguez, *El eclipse de luna...*, pp. 67-83.

mucho tiempo más importante estanco de pólvora en estas tierras, sino que tuvo la oportunidad de entablar lazos familiares con personajes importantes de la alta sociedad novohispana, como fue el caso de su yerno, Diego de Aguilera, reconocido cantero y maestro mayor de las obras de la Catedral de la Ciudad de México.

Gudiel compartió con su familia política terrenos en la zona de Teotihuacan, en donde insistentemente intentó instalar una factoría para la extracción del salitre para la elaboración de las municiones para La Corona. Durante esos intentos tuvo serios conflictos con los habitantes de Teotihuacan por su intención de fundar la primera fábrica de molino de pólvora de la Nueva España. Por la tensión con los naturales de la zona en varias ocasiones se vio la necesidad de la intervención de los virreyes. Finalmente, hacia finales del siglo XVI Gudiel ya no contaba con el derecho al estanco de pólvora pero conservaba el nombramiento de *armero y artillero mayor de la Nueva España*.

Para la observación del eclipse de 1584 Gudiel se encargó de la disposición de los instrumentos, del ensayo para la observación y del registro del inicio y término de la penumbra lunar. Su intervención fue eminentemente técnica, no teórica; la ciencia novohispana se nutriría durante las décadas posteriores de la naciente tradición de habilidad manual, de la que Gudiel fue partícipe durante el eclipse de 1584.

Metodología científica en la observación del eclipse

La observación de un eclipse como método para determinar coordenadas busca registrar en qué punto la Luna queda sin eclipsar y mostrar con ello la longitud celeste, en función de la constelación en la cual ocurre el resplandor lunar ya sin eclipse. Ese punto dado en una constelación determinada en la cual la Luna aparece sin eclipsar, es contrastado con las posiciones conocidas del medio día solar, y el resultado de esa medición es la segunda coordenada, la latitud. Con este método se podían definir ambas coordenadas (latitud y longitud) del sitio desde el cual se llevaba a cabo la observación.

Así pues, la observación astronómica busca determinar las coordenadas exactas en donde se encuentra el Sol al medio día, para que de acuerdo con la sombra reflejada por una vara perpendicular instalada en lo alto de un templete, al modo como el gnomon o pínula lo está en un reloj solar, se establezca una referencia conocida y fija.

Posteriormente, con el mismo método (la vara perpendicular sobre el templete) se registra la sombra proyectada por la Luna que ha sufrido un eclipse,

una vez que se encuentra totalmente libre de la penumbra provocada por la Tierra. En ese momento, la luz lunar forma una sombra a través de la vara, y al compararse ese registro con las coordenadas de la sombra ya conocida del Sol, aplicando la doctrina de triángulos y la tabla de los senos, se determina la latitud del lugar. Para el caso de la Ciudad de México su latitud o altura septentrional se fijó, como ya se ha mencionado, a los 19° 13'.

Lo más importante en este método e instrumentación observacional es, pues, la ubicación de la sombra del Sol, y la sombra producida por la Luna ya libre del eclipse; así como el registro del tiempo y momento en que la Luna queda libre de la sombra terrestre. Por lo tanto durante el fenómeno era determinante el cómputo del tiempo que duraba el fenómeno, y por ello el equipo interdisciplinar enviado por Felipe II se sirvió de un triple método para fijar la hora y duración del eclipse: un primer método en función de la sombra proyectada por la luz lunar al final del eclipse; otro más a partir del meridiano en el que se avistó la Luna comparado con el meridiano del mediodía solar; y uno tercero investigando el arco horario por medio de estrellas fijas.¹⁸

Epílogo: instrumento, racionalidad y ciencia en el siglo xvi; a propósito del eclipse de 1584

En el mundo moderno del siglo xvi la instrumentación científica desarrollada fue muy diferente a su posterior a su versión del siglo xvii, en el que serán comunes las bombas de aire, los telescopios, microscopios, barómetros y otros instrumentos del mismo tipo. En cambio, durante el xvi la razón instrumental fue otra. Incluso se podría discutir si a los instrumentos del siglo xvi se les puede llamar propiamente *instrumentos científicos*, pues no parecen ajustarse al uso que desde el siglo xvii y hasta nuestros días tiene esa nomenclatura. Más bien se trataba de *instrumentos matemáticos*, no sólo para dibujar y calcular, sino herramientas útiles lo mismo para la astronomía, la navegación, la arquitectura, mediciones gnómicas o de labores de sobrevivencia, entre otras.

La diferencia entre los instrumentos meramente matemáticos usados en el xvi y los instrumentos científicos de la ciencia moderna del xvii en adelante, radica en la diferencia que hay entre el *conocer* y el *hacer*. Hoy por hoy, y desde el

¹⁸ Jaime Juan, *Juizio astrológico del eclipse de la luna que aconteció en 17 de noviembre. Anno 1584*, f. 11rº, f. 11vº, f. 12rº.

siglo XVII, los instrumentos científicos sirven para *conocer*, siempre y cuando se sigan ciertas reglas operativas de descubrimiento y detección. El conocimiento que se desprende del uso de los instrumentos científicos modernos fue en esa época muy de la mano con el conocimiento que de la llamada *filosofía natural*: telescopios, microscopios y termómetros buscaban revelar las causas reales del funcionamiento ontológico de la naturaleza.

Eso no ocurría en el uso instrumental del XVI. En ese momento los aparatos de medición como los relojes solares, el astrolabio o los sextantes intentaban mostrar una regularidad inserta en la naturaleza, con sus estructuras y principios de organización inicialmente escondidos, y que los instrumentos dejarían aparecer de modo transparente.

Más que el conocimiento de una causalidad ontológica, se trataba de un hacer instrumental para dejar que la naturaleza se manifestara tal como es, sin necesidad de construcciones artificiales del objeto de investigación; construcción tan propia de la ciencia experimental del siglo XVII en adelante.

Basta un sencillo análisis de los instrumentos sobrevivientes del siglo XVI para confirmar esta tesis: se trata de utensilios que ofrecen servicios para un gran rango de actividades y prácticas profesionales, más propias del hacer que del conocer: los navegantes, exploradores, astrólogos, ingenieros militares y otras profesionales más, que necesitan del cómputo del tiempo, eran los beneficiados directos de la instrumentación en boga.

Con esos utensilios las personas podían encontrar respuestas a ciertos problemas, no *descubrir* cosas, en el más estricto sentido (a menos que se considere un *descubrimiento* la medida de la latitud o longitud), y no incrementan su conocimiento del mundo natural en el sentido en que lo pretendía la *filosofía natural*.¹⁹ Los instrumentos del XVI, con su carácter práctico, sólo intentaban *resolver problemas*, no mostrar las causas del funcionamiento del mundo. Eso puede explicar por qué muchos de esos instrumentos (como las esferas armilares, los astrolabios, sextantes o mapamundis) parecen hechos para impresionar,

¹⁹ Un ejemplo de esto es la construcción de los globos terrestres rotatorios celestes, que se hacían girar en torno a un eje como si fuera la Tierra la que se movía, a sabiendas de que era el cielo el que se consideraba en movimiento. El uso de estos utensilios no representa una versión protocopernicana de algunos artesanos adelantados a su tiempo, sino la representación de una realidad que no se considera como se le muestra, porque el instrumento no se piensa como un medio para *conocer*, sino para *hacer* un cálculo. Algo muy diferente a lo que ocurre con un microscopio o un telescopio. Cf. Jim Bennett, "Presidential address. Knowing and doing in the sixteenth century: what were instruments for?", en *British Journal of History of Science*, núm 36 (2), Junio 2003, pp. 129-131.

con excesivos adornos de uso decorativo, más que con fines estrictamente didácticos.²⁰

En la diferenciación entre matemática práctica *para conocer*, aplicada al uso de instrumentos del xvii, y matemática práctica *para hacer*, más propia de los instrumentos del xvi, destaca especialmente el astrolabio. Sus proyecciones universales sirven para representar un modelo estándar del cielo que no necesariamente corresponde al real. Lo mismo ocurría con los globos celestes precopernicanos, que podían rotarse sobre su eje como nuestros actuales globos terráqueos, pero ello no correspondía a lo que en ese entonces se creía que realmente ocurría (esto es, que el cielo era el móvil y no la Tierra).

En ambos casos, la proyección representada en los astrolabios, y los globos terráqueos que hacían moverse a la Tierra, no había contradicción alguna porque se consideraba que esos instrumentos eran capaces sólo de representar el mundo de la práctica matemática, no al de la filosofía natural.²¹ Podemos decir que en el siglo xvi los instrumentos servían para *conocer*, sólo cuando por

²⁰ Así pues, se trata de instrumentos matemáticos destinados a la práctica, que no proveen conocimiento natural. Ciertamente hay algo de conocimiento en ellos (de orden geométrico, modo de construirse y usarse, colocación de estrellas y la distribución del mundo, etcétera); pero una cosa es el conocimiento cosmológico del mundo natural y otra el que arroja el uso de instrumentos matemáticos para solucionar problemas. Esto se ve en la distinción entre cosmografía y cosmología, pues la cosmografía combina astronomía, geografía, el arte de la sobrevivencia, la cartografía y la instrumentación correspondiente a la representación tanto de los cielos como de la Tierra; mientras que la cosmología sólo se relaciona con la filosofía natural. En esto interviene también la matemática práctica, como bien advirtieron quienes estuvieron interesados especialmente en la instrumentación y la cartografía, como fue el caso de Mercator. Cf. Nicholas Crane, *Mercator. The man who mapped the planet*. Londres, Phoenix, 2003.

²¹ Las proyecciones usadas por los astrolabios no se consideraban sino con un uso meramente práctico e instrumental, por eso se le llamaba "tipo de esfera material en plano", mientras que al planisferio se le llamaba "tipo de Orbe universal", porque son instrumentos para resolver problemas con sus propiedades proyectivas. Y muchas veces esto mismo ocurría con las proyecciones cartográficas mismas (como la que siguiendo a Mercator, hace de Groelandia un territorio más grande que Sudamérica, ya que mientras más lejano del ecuador está un sitio en un planisferio con esa proyección, más deformado aparece), y no se consideraba que se violara ninguna representación real u ontológica, pues la intención era obtener un criterio de referencia para ubicar un punto. En este sentido cuando se habla de "tipo", se alude a un producto matemático realizado a partir del mundo material, como una especie de representación codificada o esotérica de un modo sistemático que pueda ser leído y extraído por medio de una operación hábil de quien tiene la capacidad. Los mapas a escala, por ejemplo, principalmente introducidos en el siglo xvi funcionaron como una suerte de *encapsulamiento* de información con características epistémicas similares a las implementadas por los teóricos en astronomía, y de un modo semejante al que se realizaba con los instrumentos que incorporaban proyecciones como el astrolabio, los cuadrantes horarios y toda variedad de relojes solares.

conocimiento se entiende lo relativo al diseño y las instrucciones de uso para resolver determinados problemas prácticos,²² mientras que su tarea estaba más propiamente por el lado del *hacer*, esto es, el resolver esos problemas prácticos.

Al medir el eclipse de Luna por medio de la sombra reflejada por la Tierra, el instrumento que revela esa sombra, al modo de un gnomon o pínula de los relojes de Sol, para con ello dar la hora lunar mediante la sombra, se hace uso de un instrumento que en cierto sentido *funciona solo*, como un autómatas, en el que no hay prácticamente intervención humana, sin un sujeto motor, que intercepte un movimiento natural del Sol.²³

Más que un instrumento en sentido moderno o contemporáneo, el instrumento científico del XVI es un artefacto que une lo material a un sistema lógico. En este caso, al registrar un eclipse y su sombra, el acto de ver al cielo no es el mismo acto por el que el telescopio advierte el firmamento: en la medición del eclipse el mundo se da a conocer al mismo mundo que lo ve, como si el mundo pudiera ver de forma transparente la escritura que el mundo traza sobre sí mismo, para leer lo que el Sol escribe sobre el suelo al dejar su sombra. En el telescopio, en cambio, hay una manipulación de rayos luminosos y una desviación de sus reacciones naturales (como en la eliminación de la aberración cromática) que hace compatible la observación con nuestras propias características epistemológicas humanas.

Así, podríamos distinguir dos tipos de instrumentos científicos: los que dependen de nosotros en su operación, y los que no dependen de nosotros para su funcionamiento.²⁴ Los primeros sólo revelan su utilidad cuando se les ajusta, dirige, teoriza y practica (como los telescopios, las bombas de vacío, los termómetros o microscopios de la ciencia de los siglos XVII y XVIII); pero los segundos como el utilizado en la medición del eclipse que nos ocupa, no dejan de ser instrumentos en ningún momento: todo el tiempo operan y revelan una regularidad y lógica que está ahí, inscrita en el universo mismo para ser manifestada al mismo universo.²⁵

Y en eso radica a mi parecer la relevancia epistemológica del episodio de la naciente ciencia novohispana que hemos recordado en estas líneas, pues la

²² Cf. Jim Bennett, "Presidential address. Knowing and doing in the sixteenth century...", pp. 141-144.

²³ Cf. Albert Waugh, *Sundials. Their theory and construction*. Nueva York Dover, 1973.

²⁴ Cf. A. C. Crombie, *Agustine to Galileo*, vol. II. Londres, W. Heinemann, 1981, pp. 121-196.

²⁵ Cf. Michael Serres, "Gnomon: los comienzos de la geometría en Grecia", en M. Serres, ed., *Historia de las ciencias*. Madrid, Cátedra, 1991, pp. 82-88.

concepción de instrumento científico que los enviados de Felipe II sostenían al aprovecharse de un fenómeno natural como un eclipse lunar (en este caso, el del 17 de noviembre de 1584), intentaba revelar algo que consideraban ontológico (la latitud y la longitud), con la finalidad de resolver un problema eminentemente práctico: la ubicación de la Ciudad de México; todo ello por medio de una medición que representara un criterio universal para conocer la posición del suelo que pisaban.

Fecha de recepción: 17/09/2007

Fecha de aceptación: 17/01/2008