

PRÁCTICAS CON INSTRUMENTOS CIENTÍFICOS EN LA OBSERVACIÓN Y MEDICIÓN DEL TRÁNSITO DE VENUS SOBRE EL DISCO SOLAR EN LA NUEVA ESPAÑA, 1769

PRACTICALS WITH SCIENTIFIC INSTRUMENTS IN THE OBSERVATION AND MEASUREMENT OF THE TRANSIT OF VENUS OVER THE SOLAR DISK IN NEW SPAIN, 1769

Maribel Moreno Ochoa

Centro de Investigación y de Estudios Avanzados del Instituto Politécnico Nacional. (México)
maribel.m.ochoa@hotmail.com

Resumen:

La construcción del conocimiento matemático se fue dando gracias a las teorías y las prácticas científicas inmersas en las necesidades de contextos sociales y situados, muchas veces muy distintos y con intereses diversos, y en relaciones imperiales-coloniales como en el siglo XVIII, donde no es posible desdibujar los límites entre las disciplinas como lo podemos hacer actualmente, pero que sí podemos tomar algunas consideraciones de la matemática educativa en qué y cómo se enseñaba y aprendía la matemática en dicha época y acercarnos desde cómo se generaba el conocimiento científico. Poner el acento en los instrumentos que se usaban para realizar observaciones y mediciones astronómicas ya trae una carga significativa en la que la matemática es base. La investigación en curso plantea cuestionarse el tipo de instrumental que se utilizó en la observación del tránsito de Venus de 1769 en Baja California donde un criollo novohispano, dos tenientes españoles de navío y un astrónomo francés realizan sus observaciones y así mostrar los saberes locales y globales que se ponen en juego.

Palabras clave: prácticas, instrumentos científicos, observación y medición

Abstract:

The construction of mathematical knowledge took place thanks to theories and scientific practices immersed in the needs of social contexts, often placed very different, and with diverse interests, and in imperial-colonial relations as in the eighteenth century, where it is not possible to blur the boundaries between disciplines as we can do today, but we can take some considerations of educational mathematics with respect to what and how mathematics was taught and learned at that time and we can approach it from how scientific knowledge was generated. To focus on the instruments that were used to make astronomical observations and measurements already carries a significant load in which mathematics is the basis. This ongoing research proposes to question the type of instruments used in the observation of the transit of Venus in 1769 in Baja California, where a Novo-Hispanic Creole, two Spanish lieutenants and a French astronomer made their observations and thus to show the local and global knowledge that was put at stake.

Keywords: practices, scientific instruments, observation and measurement

■ Introducción

El presente reporte de investigación es parte de una tesis doctoral en curso y tiene como finalidad reflexionar entorno de la materialidad, como el uso de instrumentos científicos y problematizar cómo se dan las prácticas científicas en las observaciones y mediciones astronómicas en las que la matemática o las matemáticas están inmiscuidas, pero que poner el ojo en otras consideraciones, por ejemplo, sobre cómo circula el conocimiento, qué hace que lo que se observa y se mide sea válido y cómo participa la precisión, la objetividad que se supone dan los instrumentos científicos, quedan entramados en lo que se considera la generación de conocimiento sin justo eso, problematizar otros factores como el prestigio, la autoridad y hasta la legalidad de quien mide, quien observa y qué se dicta como verdadero.

El concepto de medición es considerado como “una de las operaciones más básicas de la ciencia” (Canales, 2009, p. 12), pero complejo en los debates de cómo medir. La medición ha sido parte de una nueva forma de concebir el mundo, a partir de números, para justificar las decisiones de imperios donde los términos precisión, estandarización y objetividad fueron tomando cada vez más peso en las decisiones políticas y económicas que poco a poco dieron paso a una mentalidad numérica, como es el caso de la estadística en el siglo XIX (Cohen, 2001; Porter 1995 y Wise, (coord.), 1995).

Para el siglo XVIII y todavía en el S. XIX uno de los objetivos de la astronomía fue la medición de las distancias en el universo, como la distancia de la Tierra al Sol, por ejemplo, haciéndose uso del método de la paralaje, el cual es el ángulo desde donde un observador hipotético vería el radio terrestre de la Tierra desde el centro del Sol. La paralaje solar se determina con cálculos trigonométricos a partir de los datos proporcionados por las observaciones de los tránsitos de planetas, como Mercurio y Venus. En el año 1838 se considera se realizó la primera medición de una paralaje estelar a estrellas distantes por el matemático y astrónomo alemán Friedrich Wilhelm Bessel (1784-1846).

En la segunda mitad del siglo XVIII, antes de su independencia, Nueva España (NE), siendo una colonia con intereses propios y con ideas ilustradas, se llevaron a cabo mediciones y observaciones astronómicas. En 1769 se realizó una expedición franco-española a la península de Baja California en la que participaron enviados de la Academia de Ciencias de París, dos tenientes de navío españoles y un criollo novohispano para observar el tránsito de Venus.

El tránsito de Venus sobre el disco solar del siglo XVIII convocó a los astrónomos de distintas regiones del globo terráqueo a circular, dado que entre más alejados estuvieran (al menos) dos observadores, sería mejor para comparar las diferencias de tiempo de entrada y salida. El tránsito de Venus sobre el disco solar sólo ocurre dos veces en un siglo, y después de 105.5 años o 121.5 años. En 243 años se repiten cada 8, 121.5, 8, 105.5 años, respectivamente. Por ejemplo, algunos fenómenos de esta naturaleza han sido en los años: 1631, 1639, 1761, 1769, 1874, 1882, 2004, 2012 y los dos próximos serán en los años 2117 y 2125 (Gazol, (s. f.)). Se requería entonces la colaboración no sólo de un astrónomo y aquí la importancia de este método que convocó por primera vez a los astrónomos de distintas latitudes a movilizarse, realizándose 130 expediciones en 1761 y 151 observadores en 77 lugares distintos del mundo en 1769 (Bernabéu, 1998). Estas observaciones y la comparación de sus mediciones entre los astrónomos servían para fines más prácticos como: a) la cartografía y la navegación; b) la conquista de ultramar; c) el cuestionamiento de la forma de la Tierra, y sus reglas universales, propuestas por el matemático y físico inglés Isaac Newton (Lafuente y Delgado, 1984; Capel, 1989 y Sellés, 2000).

■ Fundamento teórico

Recientemente, el rol de los instrumentos en la generación de conocimiento ha sido tema de debate para los historiadores y filósofos (Canales, 2009; Daston y Galison, 2010; Galison, 1997). La idea de que los principios científicos residen en la teoría y quizá en el método experimental pero no en los instrumentos se ha problematizado, alejándose de la idea de que solo “ayudaron a cuantificar los conceptos, pero no los contenían ni los iniciaban” (Van Helden y Hankins, 1994, p. 3).

Cuestionándose la concepción de que

los instrumentos científicos son ‘teoremas reificados’ [término de Gastón Bachelard de su libro *Epistemología* del año 1973]... [o] la extensión material de teorías probadas. Esta idea se gestó aparejada al hecho de que los instrumentos podía desplazarse y usarse en cualquier otro lugar, en tanto derivados de conocimientos universalmente válidos (Cházaro, 2009, p. 102).

Los instrumentos utilizados no estaban estandarizados y lejos de considerarse objetivas sus mediciones, importaba el prestigio del observador y la calidad de los mismos. Los instrumentos utilizados en esta época “ganan” autoridad sobre el observador, es decir, el prestigio del observador dependió de la calidad de los instrumentos que utilizaba. Dentro de los propósitos de los instrumentos está el de conferir autoridad (Van Helden y Hankins, 1994).

Bajo este enfoque, encuentro que la perspectiva de la historia global me permite analizar el rol de los instrumentos en los que confluyen otros actores, ideologías y prácticas científicas donde surgen intercambios, que necesariamente son de ida y vuelta, cuestionando así, la vieja noción de centros y periferias. Igualmente, este estudio se alimenta de reflexiones procedentes de la historia interconectada, cruzada, comparada o de contactos (Werner y Zimmermann, 2004; Souto, Salmerón y Mayer, 2017).

■ Metodología

Se ha indagado en fuentes históricas en distintos repositorios archivísticos, tanto presenciales como virtuales documentos de los observadores que participaron en la expedición franco-española a California para la observación del tránsito de Venus sobre el Sol, así como del novohispano que se encontraba en dicho lugar, los documentos se han estado analizando para encontrar los vínculos entre los observadores, su formación académica y los intereses que tenían sus instituciones, como la Academia de Ciencias de París para que se realizara este tipo de encomienda. Los archivos históricos que se han consultado son el Archivo General de la Nación en la CDMX, indagaciones virtuales de repositorios como Gallica.com de la Biblioteca Nacional de Francia y presencial, así como la Biblioteca Virtual Nacional de España, se ha encontrado material en línea y manuscritos publicados en libros, además de descripciones de instrumentos científicos de la época, tanto en línea, como en ediciones impresas.

Los observadores en Baja California

Los observadores fueron: Joaquín Velázquez de León (1732-1786); Jean-Baptiste Chappe d’Auteroche (1728-1769); Vicente de Doz y Funes (1734-1781) y Salvador de Medina (¿?-1769).

Joaquín Velázquez de León nació el 12 de junio de 1732 en el seno de una familia minera en la hacienda de Acebedocla, en el Real de Sultepec (actualmente el séptimo municipio en extensión del Estado de México). Murió en la Ciudad de México el 7 de marzo de 1786. Velázquez fue

colegial... del insigne, mayor y mas antiguo colegio de Santa María de Todos Santos de esta ciudad de México, abogado de la real audiencia de ella, e individuo de su ilustre colegio, catedrático de matemáticas en la real y pontificia Universidad, del consejo de S. M., su alcalde de corte honorario, y director del importante cuerpo de minería de este reino (Cumplido, Carta de León y Gama, 1844, p. 511).

Velázquez de León fue comisionado como oficial real en California por el visitador José de Galvéz de 1768 a 1770. Velázquez debía de “examinar las minas, mejorar los métodos empleados, capacitar a los trabajadores locales y contribuir al aumento de la extracción de plata y oro” (Bernabéu, 2010, p. 218). Además, debía apoyar a la comisión franco-española en lo que necesitaran (Engstrand, 1976).

Chappe d’ Auteroche nació en Mauriac, departamento de Cantalen Auvergne, Francia el 23 de marzo de 1728 y murió en San José del Cabo, en el municipio de Los Cabos, Baja California Sur, México. Fue hijo del barón d’Auteroche y de Madeleine de la Farge. Sus primeros estudios fueron al cuidado de los jesuitas, después se matriculó en el colegio Louis-le-Grand de París, donde fue protegido por el cartesiano Germain Chartreux, recomendado por el principal del colegio, Père de la Tour al director del Observatorio de París, Jacques Cassini,

donde fue contratado como dibujante de la *Carte de France*, tradujo al francés la obra de Edmund Halley: “*Astronomical Tables, with Precepts Both in English and Latin for Computing the Places of the Moon*” publicada en Londres en 1752. Fue nombrado astrónomo adjunto de la Academia de Ciencias en enero de 1759 y después miembro del Observatorio de París, gracias a sus trabajos registrados y observaciones a partir de 1753, desarrollando un programa de observaciones en Bitche (Lorraine), entre 1756 y 1758, estudiando además la electricidad de la atmósfera.

Auteroche es seleccionado por la Academia de Ciencias de París para la encomienda; para entonces, es miembro del Observatorio de París, cuyo director era César-François Cassini de Thury (Cassini III). Auteroche encabezó la expedición franco-española en la Península de Baja California en 1769 bajo la supervisión de los tenientes de navío, los españoles Salvador de Medina y Vicente de Doz, cuyas órdenes eran que Auteroche se dedicara exclusivamente a la observación al que era destinado más allá de otros intereses que estuvieran ocultos, como el espionaje entre imperios, por ejemplo.

En la expedición franco-española, acompañan a Auteroche desde Francia: Juan Pedro Michel Pauly, un ingeniero geógrafo del rey; Juan Noel Turelure, de la escuela de artes, dibujante, pintor y diseñador; Juan Santiago Dubois, un relojero quien fue el encargado de cronometrar el paso de Venus y un sirviente Pedro Barnon (Auteroche, trad. en 2010; Archivo General de Indias, Portal de Archivos Españoles).

Auteroche era el único que había realizado la observación del tránsito de Venus en 1761 en Tobolsk, Siberia. Los instrumentos que utilizó en ese entonces fueron un cuarto de círculo de tres pies y dos péndulos, uno de los cuales era de Julien Le Roy; un telescopio de tres pies al que se adaptó un micrómetro; una máquina paraláctica que hizo construir para un telescopio de diez pies con un micrómetro que tenía dos oculares uno encima del otro; otro telescopio que se ajustaba al mismo micrómetro con dos oculares del mismo enfoque que los dos primeros (Auteroche, 1768). Además, en 1753 había observado el tránsito de Mercurio con los astrónomos Cassini III, Jacques Phillippe Maraldi y Jean-Bautiste Le Gentil (Nunis, 1982).

Instrumentos y prácticas instrumentales

Los instrumentos que se presentan a continuación fueron los que se reportaron en las observaciones astronómicas realizadas en Baja California Sur para el fenómeno del tránsito de Venus sobre el disco solar y se dan a conocer algunos de ellos que se han encontrado en colecciones de instrumentos científicos o en libros, como es el caso, esto último, del texto de Lalande *Astronomie*, Tomo II, segunda edición de 1771 en su sección *Livre treizième des instruments d’astronomie* (pp. 722-830), donde describe instrumentos astronómicos. Es complicado dar a conocer los instrumentos en imágenes, es decir, no se conocen físicamente los instrumentos y por sus referencias en las descripciones de los observadores, no dan mucha información al respecto. Los instrumentos no estaban estandarizados y el material entre ellos variaba, además podríamos considerar que los instrumentos se realizaban “especialmente” para quien lo requería con aditamentos distintos, aunque en su esencia dependía su funcionamiento si eran telescopios refractores o telescopios reflectores, a los cuales se referían por anteojos, lunetas o telescopios.

Las prácticas de mediciones y observaciones astronómicas implican los observatorios que se montaron y los instrumentos que se utilizaron. En California se montan tres observatorios, uno de Velázquez en Santa Anna; y dos en San José del Cabo, uno por Doz y Médina y el otro por Auteroche.

Velázquez en Santa Anna dispone de “sus instrumentos, y haciendo construir un corto, pero capaz observatorio de madera, donde, aunque con alguna incomodidad, se pudiera lograr la firmeza y resguardo del péndulo, del barómetro y termómetro, con los demás instrumentos necesarios al efecto” (León y Gama en Cumplido, 1844, p. 543) realiza la observación del paso de Venus sobre el disco solar “en la cima del cerro más alto del lado oeste de Santa Ana desde donde, sin perder de vista el Golfo de California y la Ensenada de Cerralvo al nor-noreste, también puedo ver la puesta de sol del gran Océano Pacífico” (Velázquez en Nunis, 1982, p. 134).

Los instrumentos de Velázquez son:

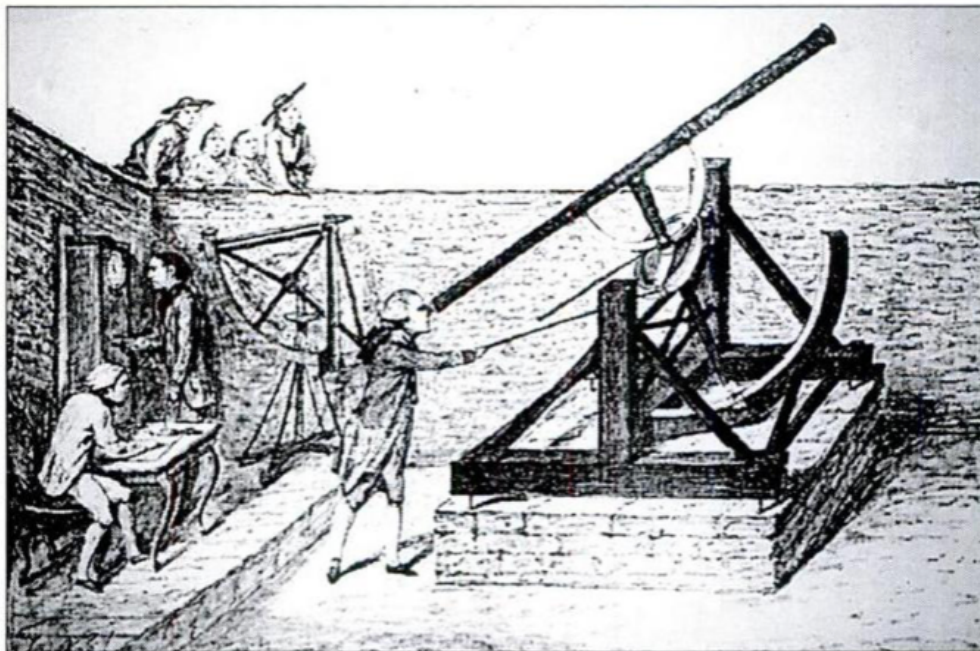
1. Un telescopio reflector gregoriano inglés de veintidós pulgadas de Short.
2. Un catalejo con un objetivo de 20 pulgadas de longitud focal y dos líneas de pelo extremadamente finas que se cruzan en ángulos rectos.
3. Un péndulo de segundo “cuyos errores no eran infinitos”.
4. Tubo (anteojo) astronómico romano que no tiene más de $5 \frac{1}{2}$ pies de longitud, inventado por Kirk (“con dos lentes transparentes bien pulidas”).
5. Un helioscopio compuesto por dos gafas ahumadas.
6. Un goniómetro inglés circular de poco más de un pie de diámetro, graduado con buena exactitud y con la división de Vernier en el diópter. Al no tener consigo un cuadrante astronómico, Velázquez utiliza este goniómetro.

En San José del Cabo y a quince días antes del paso de Venus se instala la expedición franco-española. Auteroche realiza observaciones preliminares para conocer la marcha del péndulo y ajustarla de ser necesario, “el balancín estaba demasiado largo, lo acorta y con un reloj logra obtener finalmente un tiempo medio con una precisión de pocos segundos” (Auteroche, trad. en 2010, p. 75).

El observatorio es un granero (Figura 1) que almacenaba maíz, con piso de tierra firme y bien compacta, del cual retira

toda la parte del tejado que mira al Este, Sur y Oeste y volviendo a recubrirlo con telas que se replegaban o extendían a voluntad, a manera de que en un momento se pudiera ver u ocultar la parte del cielo que él juzgara necesaria (Auteroche, trad. en 2010, p. 76).

Figura 1. *Máquina paraláctica para un anteojo acromático.*



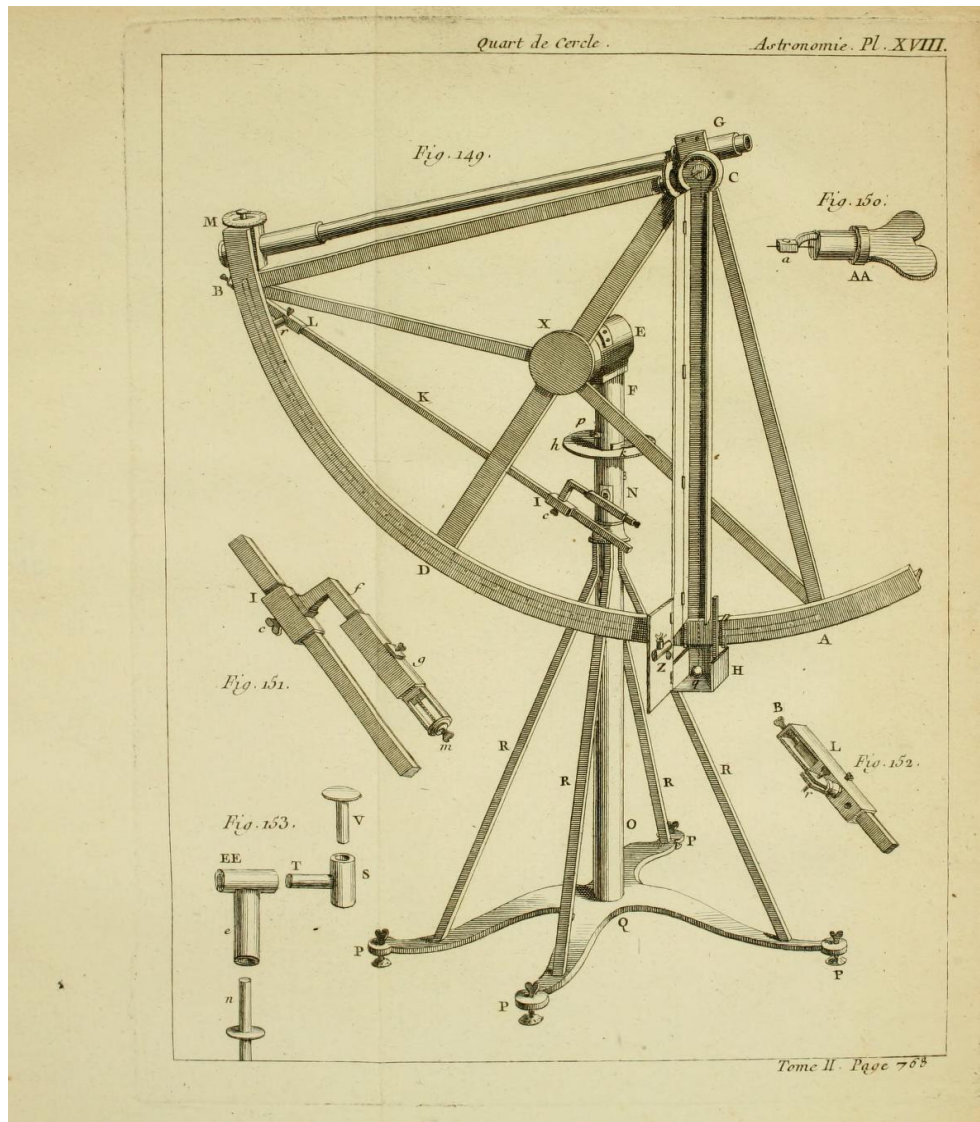
Fuente: máquina astronómica. Obra del pintor francés Jean Noël Torelure (Fuster, 1998).

Los instrumentos de Auteroche son:

1. Un cuarto de círculo de 3 pies de radio, construido por Canivet (Figura 2).

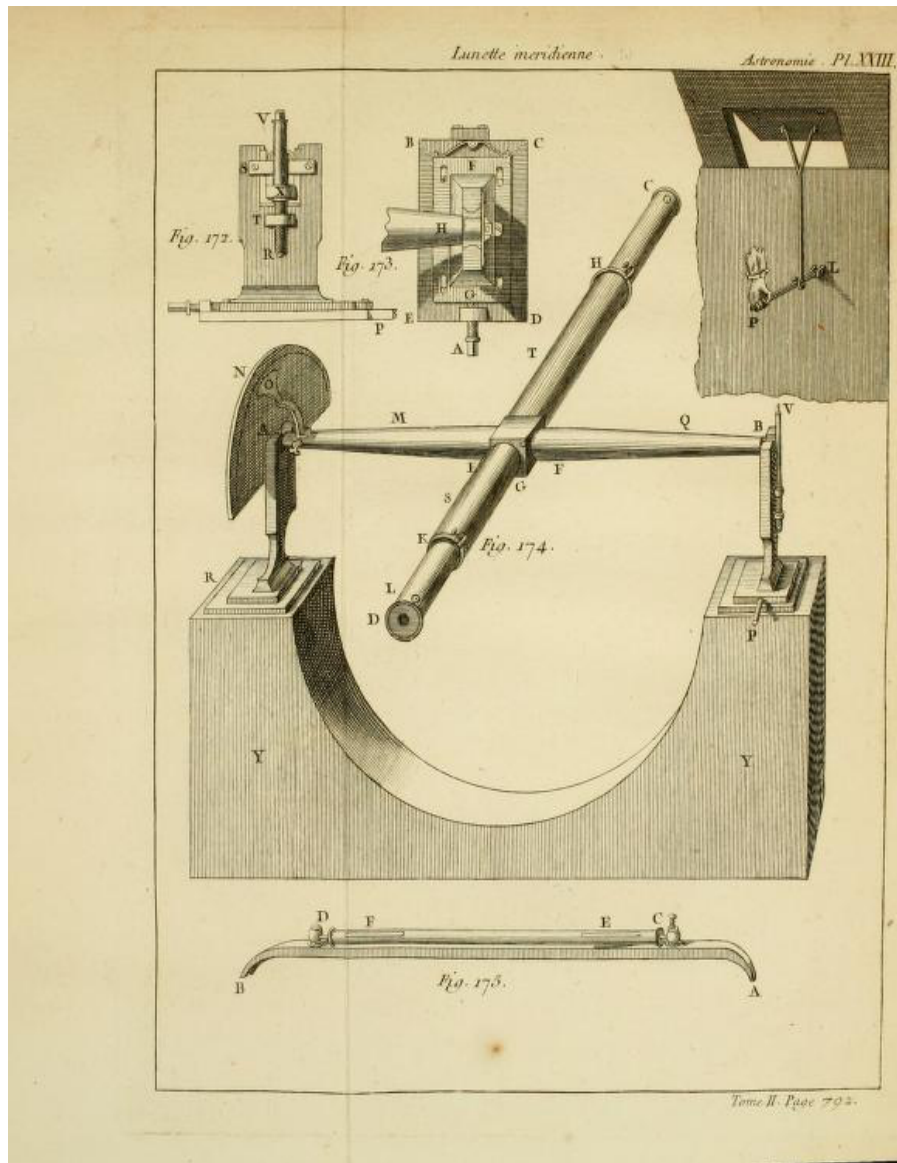
2. Un cuarto de círculo inglés de un pie y medio de radio.
3. Un instrumento de pasajes, construido por Canivet, también llamado lunette méridienne (Figura 3).
4. Una máquina paraláctica.
5. Una luneta acromática de diez pies de Dollond.
6. Una luneta acromática de tres pies de Dollond.
7. Un péndulo de Berthoud.

Figura 2. Cuarto de círculo.



Fuente: quart de cercle. Imagen tomada de Lalande (1771).

Figura 3. Instrumento de pasajes.



Fuente: lunette méridienne. Imagen tomada de Lalande (1771).

Sobre el montaje de los instrumentos

...se construyeron tres bases de mampostería para asentar firmemente el cuarto de círculo de tres pies, el instrumento de los pasajes y la máquina paraláctica; enseguida se fijó el péndulo en un poste de cedro perfectamente seco que fue transportado desde San Blas para este propósito, media un pie de ancho y cerca de cuatro pulgadas de espesor, se enterró dos pies y medio y se fijó esta base con un casquillo de mampostería, lo aseguraron, además, con dos arbotantes que lo sostienen por los dos lados y un tercero que estaba apoyado contra un muro, atrás del que se hizo construir una pared de tabiques, de modo que era imposible fijar el péndulo de manera más segura y firme; estaba además encerrado dentro de una caja a cuyo alrededor se había pegado papel para evitar todo acceso del viento o polvo. Para sostener la luneta de diez pies, se fijó una viga de ocho a nueve pulgadas de diámetro, este soporte tenía en lo alto una base que giraba con mucha suavidad sobre un eje vertical y es aquí que se fijó la luneta, girando entre dos pivotes de modo que podía moverse con facilidad en sentido vertical u horizontal (Auteroche, trad. en 2010, p. 76).

Auteroche fue celoso de sus observaciones, aunque al principio había considerado la ayuda del ingeniero geógrafo Pauly “debido a la multiplicidad de observaciones para el tránsito de Venus”, al final decidió realizarlas por él mismo, ya que las observaciones “delicadas por sí mismas [...] serían aún mucho más difíciles de llevar a cabo por la posición del Sol, que se encontraría casi en el cenit”. Cassini IV considera que fue la mejor decisión “pocas observaciones bien hechas y seguras, valen infinitamente más que un mayor número, pero de las que se podría tener cualquier sospecha y por lo tanto una incertidumbre” (Auteroche, trad. en 2010, p. 77). Jean-Dominique conde de Cassini, también encontrado como Jacques-Dominique de Cassini (1748-1845) se encarga de editar y publicar la bitácora de Auteroche quien muere el primero de agosto de 1769 en California por una epidemia que azotaba la región. Pauly se encarga de regresar con la bitácora del astrónomo a Francia.

El observatorio de Doz y de Medina lo construyen de madera “de 18 varas de largo y 6 de ancho, dejando dos aberturas en la dirección del paralelo que debe describir el sol el día de la observación, cubriéndolas de lienzo que, subiendo y bajando por medio de cordeles, dejen solamente descubierto lo que necesitan los anteojos, a fin de evitar la menos vibración que les pueda causar el viento” (Fuster, 1998, p. 160).

Los instrumentos de Doz y de Medina son:

1. Péndulo inglés hecho por Ellicott.
2. Un cuadrante inglés de dos pies de radio hecho por John Bird (Figura 4).
3. Dos monturas paralácticas.
4. Un telescopio ordinario de 14 pies.
5. Un telescopio acromático de 10 pies ingleses.
6. Un micrómetro inglés.

Figura 4. Cuadrante inglés.



Fuente: astronomical quadrant. Imagen tomada de la Collectiopn of Historical Scientific Instruments, Harvard University (<http://waywiser.fas.harvard.edu/objects/11433/astronomical-quadrant?ctx=91209a48-4b94-4003-897d-030996b003cd&idx=4>).

Los instrumentos de los observadores fueron utilizados para distintas observaciones, antes, durante y después del tránsito de Venus, las cuales se requerían para la determinar la latitud y la longitud de la ubicación del observatorio, por ejemplo.

■ Conclusiones

El alcance de las prácticas en la interacción global no solo se queda en el contacto de los observadores, cada uno trae consigo su propia formación y puede hablar desde el lugar donde se encuentra. El engranaje de posiciones que se solapan puede mostrar las comparaciones, las conexiones y la causalidad de este tipo de encomiendas, el alcance en distintos espacios, el local y el global. Aún hay más que reflexionar sobre el papel de las relaciones entre los sujetos, Velázquez llega a conocer a los miembros de la expedición franco-española que sobrevivieron a la epidemia que aconteció en San José en el momento de su arribo y que por la enfermedad. Velázquez sigue realizando observaciones astronómicas, pero ahora con los instrumentos de Auteroche que se quedan a su cargo y que posteriormente utiliza para determinar la longitud del Valle de México a su regreso de California.

El abordaje de este trabajo no considera estas mediciones como simples observaciones hechas al azar, sino como parte de una asociación “científica”, inmersa en la conquista del poder político y económico de quien sabe más y trasciende su conocimiento por encima de otros (Blaut, 1993; Pyenson y Sheets-Pyenson, 1999; Raj, 2007). Tanto el caso de Chappe, los españoles y sus contemporáneos novohispanos pueden dar evidencia de lo contingente que llegó a ser este tipo de encomiendas, de las implicaciones políticas y lo que representa lo local frente a lo que se considera el mundo externo o moderno.

Aún se está en revisión de archivos en el que se muestran las observaciones realizadas, descripciones de los observatorios montados y los instrumentos utilizados, falta complejizar sus prácticas en cuanto a cómo realizaban sus observaciones y las posibles conexiones entre ellos. Además, considero que este tipo de trabajo inmerso en la historia de la ciencia puede aportar a la historia de las matemáticas analizando contenidos de libros de texto o el uso de las matemáticas en la época novohispana donde aun no está clara la división entre disciplinas.

Agradecimientos: Agradezco a mi asesora de tesis por sus reiteradas retroalimentaciones y por su incondicional apoyo para que este proyecto salga adelante. También agradezco a CONACyT por su beca otorgada.

■ Referencias bibliográficas

- Auteroche, C. (1768). *Voyage en Sibérie, fait par ordre du roi en 1761*. Chez Debure, pere.
- Auteroche, J-B. C. (2010). *Viaje a Baja California para observar el tránsito de Venus sobre el disco del Sol, el 3 de junio de 1769*. Editado y publicado por Jean-Dominique conde de Cassini (M. A. Pérez y H. G. Albert, Trad.). Colección de Astronomía y su Historia.
- Archivo General de Indias del Portal de Archivos Españoles. CHAPPE. CONTRATACION, 5511B, N.2, R. 69. <http://pares.mcu.es/ParesBusquedas20/catalogo/description/163489>.
- Bernabéu, S. (1998). *Las huellas de Venus. El viaje del astrónomo Chappe d'Auteroche a Nueva España (1768-1769)*. Breve Fondo Editorial.
- Blaut, J.M. (1993). *The Colonizer's Model of the World. Geographical Diffusionism and Eurocentric History*. New York/ London: The Guilford Press.
- Canales, J. (2009). *A the Tenth of a Second. A history*. The University of Chicaco Press.
- Cházaro, L. (2009). Recorriendo el cuerpo y el territorio nacional: instrumentos, medidas y políticas a fines del siglo XIX en México. *Memoria y Sociedad*, 13(27), 101-120.

- Capel, H. (1989). The History of Science and the History of Scientific Disciplines. Goals and Branching of a Research Program in the History of Geography, *Geo Crítica*, Universidad de Barcelona, 84. <http://www.ub.es/geocrit/geo84.htm>.
- Cohen, P. C. (2001). The Emergence of Numeracy. En L. A. Steen (Ed.), *Mathematics and Democracy: The Case for Quantitative Literacy* (pp. 23-29). Woodrow Wilson National Fellowship Foundation.
- Cumplido (1844). *El museo mexicano o Miscelaneapintoresca de amenidades curiosas e instructivas*. Tomo IV. Lo imprime y publica Ignacio.
- Daston, L. y Galison, P. (2010). *Objectivity*. Zone Books.
- Engstrand, I. (1976). *Royal Officer in Baja California, 1768-1770. Joaquin Velazquez de Leon*. Dawson's Book Shop.
- Fuster, F. (1998). *El final del descubrimiento de América: California, Canadá y Alaska (1765-1822): aportación documental del Archivo General de la Marina*. Universidad de Murcia, Servicio de Publicaciones.
- Galison, P. (1997). *Imagen and Logic: A material culture of Microphysics*. University of Chicago Press.
- Gazol, A. (s. f.). Tránsito de Venus 2012. <https://www.iryia.unam.mx/web/index.php/news/451-transito-venus-2012>.
- Lalande, J-J L. de (1771). *Astronomie*. Seconde édition revue et augmentée. Tome second. Chez la Veuve DESAINT, rue du Foin Saint Jacques.
- Lafuente, A. y Delgado, A. J. (1984). *La geometrización de la Tierra: Observaciones y resultados de la expedición geodésica hispano-francesa al virreinato del Perú (1735-1744)*. Consejo Superior de Investigaciones Científicas Instituto Arnau de Vilanova.
- Nunis, D. B. (1982). *The 1769 Transit of Venus. The Baja California Observations of Jean-Baptiste Chappe d'Auteroche, Vicente de Doz, and Joaquín Velázquez Cárdenas de León*. Natural History Museum of Los Angeles County.
- Porter, T. (1995). *Trust in Numbers: The Pursuit of Objectivity in Science and Public Life*. Princeton University Press.
- Pyenson L. y Sheets-Pyenson, S. (1999). *Servants of Naturals. A History of Scientific Institutions, Enterprises and Sensibilities*. London: HarperCollins.
- Raj, K. (2007). *Relocating Modern Science. Circulation and the Construction of Knowledge in South Asia and Europe, 1650-1900*. Nueva York: Palgrave Macmillan.
- Souto, M., Salmerón, A. y Mayer, L. (Comp.) (2017). *Hacia una historia global e interconectada. Fuentes y temas para la enseñanza (siglos XVI-XIX)*. Instituto Mora, UNAM.
- Sellés, M. A. (2000). *Navegación astronómica en la España del siglo XVIII*. Universidad Nacional de Educación a Distancia.
- Van Helden, A., & Hankins, T. (1994). Introduction: Instruments in the History of Science. *Osiris*, 9, 1-6.
- Wise, M. N. (coord.) (1995). *The Values of Precision*. Princeton University Press.
- Werner, M. y Zimmermann, B. (2004). *De la comparaison à l'Histoire Croisée*. Le genre Humain.