



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

LAS MATEMATICAS EN LA OBRA CIENTIFICA DE
CARLOS DE SIGÜENZA Y GONGORA.

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
M A T E M A T I C O
P R E S E N T A
JOSE ANTONIO SANCHEZ CRUZ

DIRECTORA DE TESIS: DRA. MARIA DE LA PAZ RAMOS IARA



FACULTAD DE CIENCIAS
SECCION ESCOLAR



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AUTÓNOMA DE
MÉXICO

M. EN C. ELENA DE OTEYZA DE OTEYZA
Jefa de la División de Estudios Profesionales de la
Facultad de Ciencias
Presente

Comunicamos a usted que hemos revisado el trabajo escrito:

LAS MATEMATICAS EN LA OBRA CIENTIFICA DE CARLOS DE SIGUENZA
Y GONGORA

realizado por José Antonio Sánchez Cruz

con número de cuenta 8955517-0 , quién cubrió los créditos de la carrera de Matemáticas

Dicho trabajo cuenta con nuestro voto aprobatorio.

Atentamente

Director de Tesis Propietario	Dra. María de la Paz Ramos Lara
Propietario	M. en C. Francisco de Jesús Struck Chávez
Propietario	Dra. María de la Paz Alvarez Scherer
Suplente	Mat. Concepción Ruíz Ruíz Funes
Suplente	Mat. Claudia Hernández García

Consejo Departamental de Matemáticas

M. en C. Alejandro Bravo Mojica

**LAS MATEMÁTICAS EN LA OBRA CIENTÍFICA DE CARLOS DE
SIÜENZA Y GÓNGORA**

José Antonio Sánchez Cruz

Agradecimientos

Quiero agradecer a mis padres por su apoyo, cariño, y orientación al haber hecho de mí un hombre de bien.

A la Universidad Nacional Autónoma de México.

A los sinodales que participaron en mi examen profesional.

A mi directora de tesis, la Dra. María de la Paz Ramos.

A la Dra. María de la Paz Álvarez por sus valiosas sugerencias.

A la Doctora María Isabel Carles por su amabilidad y apoyo.

A Adrián Fuentes por su apoyo incondicional.

Al museo Universum.

A todas las personas que me apoyaron para la realización de este trabajo, ya que sin su ayuda no hubiese sido posible a que llegara a buen término, y de manera particular a Guillermo Guerrero.

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN.....	13
1 LAS MATEMÁTICAS Y LA ASTRONOMÍA DURANTE Y DESPUÉS DEL RENACIMIENTO.....	15
1.1 Antecedentes.....	15
1.2 Trigonometría.....	18
1.3 La situación del sistema numérico y la aritmética.....	20
1.4 El simbolismo.....	24
1.5 La solución de las ecuaciones de tercer y cuarto grado.....	25
1.6 La teoría de números.....	27
1.7 La creación de las geometrías proyectiva y analítica.....	28
1.8 Nacimiento del concepto de función.....	30
1.9 Descubrimiento del cálculo diferencial e integral.....	31
1.10 Los métodos matemáticos aplicados a cuestiones prácticas.....	36
1.11 La forma de pensamiento en Europa.....	38
1.12 La Astronomía en el siglo XVII en Europa.....	42
1.13 Aplicaciones prácticas de la astronomía.....	47
2 EL SURGIMIENTO DE LA CIENCIA EN LA NUEVA ESPAÑA.....	51
2.1 Antecedentes.....	51
2.2 Libros y bibliotecas en la Nueva España.....	56
2.3 El auge de los estudios teóricos en ciencias exactas.....	62
2.4 El estudio de las matemáticas y sus aplicaciones.....	63
2.5 El estudio de la astronomía y sus aplicaciones.....	65
2.6 La forma de pensamiento en la Nueva España.....	69
3 BIOGRAFÍA DE CARLOS DE SIGÜENZA Y GÓNGORA.....	71
3.1 Su vida y preparación académica.....	71
3.2 Don Carlos de Sigüenza como astrónomo físico y geógrafo.....	74
3.3 Sigüenza en las artes técnicas de ingeniería civil, militar y como agrónomo.....	76
3.4 Don Carlos como antropólogo e historiador.....	77
4 LAS MATEMÁTICAS EN EL QUEHACER CIENTÍFICO DE CARLOS DE SIGÜENZA Y GÓNGORA.....	79
4.1 El saber científico.....	81
4.2 Interpretación del cometa de 1680.....	83
4.3 La Libra astronómica y filosófica.....	85
4.4 La herramienta matemática que hay detrás de la <i>Libra</i> y en las actividades científicas de Sigüenza.....	89
4.5 Las matemáticas en sus actividades cartográficas y topográficas.....	102
4.6 Estimación de la herramienta matemática usada por Sigüenza a partir de otras fuentes.....	108
5 SÍNTESIS CONCLUSIVA.....	117
BIBLIOGRAFÍA.....	121

INTRODUCCIÓN

Durante mis primeros años de vida escolar adquirí conocimientos sobre la historia de México, en la cual han destacado varios hombres para forjar nuestra nación. Conforme fui avanzando en mis estudios, me fui dando cuenta, que existieron otros personajes que de alguna manera también forjaron la historia de México en los diferentes rubros económico, político, económico, social y cultural, a la par que adquiría conocimientos sobre la historia de otros países, sus hombres que la forjaron, sus sociedades pasadas etc, observé que en su aspecto cultural, mencionaban la ciencia que se desarrolló en ellos y los personajes que la impulsaron.

Durante mis estudios de licenciatura en la Facultad de Ciencias de la Universidad Nacional Autónoma de México, encontré algunas citas dispersas de que en México sí existió un pasado científico. La idea de realizar este trabajo fue inspirado por la inquietud de saber la ciencia que se desarrolló en nuestro país, en particular la matemática, lo cual me interesó el siglo XVII, ya que en este siglo tuvo lugar la creación de varias ramas de la matemática en Europa y saber cuales de ellas llegaron a la Nueva España en dicho siglo.

El estudio que aquí se realizó recae en la figura de Carlos de Sigüenza y Góngora cuya trayectoria intelectual abarca varios campos del saber, incluidas las matemáticas. La razón por la que éste estudio recaiga en su figura se debe, a que hace dos años fue el tercer centenario de su muerte para lo cual se le rindió un homenaje; en él participó gente que se ha dedicado a estudiar sus facetas de historiador, literato, religioso y científico. Me pareció que en ésta última faceta podía aportar algo acerca de su actividad en matemáticas, a la vez que doy a conocer un personaje de la historia de la ciencia de México que realizó estudios en matemáticas

Este estudio es solo una aproximación, ya que las fuentes con las que se apoya esta investigación son pocas y la mayoría de las fuentes originales que pertenecieron a Sigüenza se encuentran desaparecidas. Existen elementos que también nos ayudarán a dar esta aproximación, los cuales, aunque no están directamente vinculados con nuestro personaje, nos darán una idea del entorno científico así como las corrientes de pensamiento que prevalecieron y sobre todo la herramienta matemática que más fue utilizada por nuestro personaje. Se han realizado estudios de los quehaceres políticos, sociales y religiosos que se llevaron a cabo en la Nueva España, pero al que se refiere al ámbito cultural, el literario, es el que más destaca y en lo que respecta al estudio de temas científicos, sólo son conocidos los trabajos de historia natural y farmacopea. Esta es la parte de la historia de la ciencia de México que más se ha conocido, aunque también hay que reconocer que ha habido algunos trabajos para dar a conocer la otra parte de la historia de la ciencia de México y que es la se compone por las ciencias exactas y la aplicación de ellas, en particular la de las matemáticas. Hoy día se conoce la historia de las matemáticas en los países

Europeos por ser el centro de irradiación del conocimiento matemático, pero para los países de la periferia se conoce poco, aunque hoy, día el panorama está cambiando para dar a conocer la ciencia de estos países. El caso de México en este rubro de las ciencias matemáticas en el periodo colonial, que abarca el siglo XVII ha permanecido obscura. Las condiciones que favorecieron para propiciar el estudio de las matemáticas en la Nueva España fueron distintas a las que prevalecieron en Europa. Es obvio que existan denominadores comunes tanto en Europa como en La Nueva España como en el caso de querer resolver problemas prácticos utilizando herramienta matemática como en los problemas de astronomía de observación, navegación, comercio etc. por citar algunos ejemplos. También hay que tomar en cuenta los factores que favorecieron el interés de la matemática en México como son las corrientes de pensamiento, el flujo de libros a la colonia, la impresión de las obras científicas con contenido matemático etc.

Las matemáticas en Europa del siglo XVII fueron desarrolladas por varios hombres de distinta nacionalidad y credo y para ello se esboza una breve reseña de los avances en esta materia y quienes los hicieron posibles, para así ubicar cuales ramas de la matemática llegaron a la Nueva España, si llegaron esos avances a la Nueva España; también se mencionan obras matemáticas que salieron a la luz durante este siglo, algunas aplicaciones que tuvieron algunas ramas de la matemática y el desarrollo de las nuevas corrientes de pensamiento. En esta parte también se hace una reseña de los avances que tuvo la astronomía en esa época.

La segunda parte está destinada a describir de una forma breve la llegada de la ciencia europea al Nuevo Mundo, los primeros trabajos científicos realizados en él, los personajes que los llevaron a cabo y como se fue desarrollando la ciencia, hasta llegar a las ciencias exactas y las corrientes de pensamiento que llegaron a la Nueva España.

El tercer apartado es el espacio confinado a la biografía de nuestro protagonista para saber cual fue su preparación académica, las influencias a su pensamiento, sus motivaciones, sus trabajos intelectuales, etc.

El cuarto apartado abre la puerta a su labor científica y la herramienta matemática que usó en ella. Como se dispone de la *Libra astronómica* la única obra científica de Sigüenza llegada a nuestras manos, se analiza ésta para que nos de un reflejo del tipo de actitud científica que tomó frente a las creencias de ese entonces, de la idea de ciencia que tenía, de la bibliografía matemática consultada, la herramienta utilizada en ella, si consultó alguna obra de algún matemático sobresaliente o simplemente se abocó a consultar a los matemáticos clásicos; se compara la *Libra* con la *Exposición astronómica* de Kino. Además se citan trabajos de otros novohispanos en los que posiblemente nos den una idea del quehacer matemático que llevó a cabo Sigüenza en sus actividades científicas. Las conclusiones de este trabajo se presentan en el último apartado.

Espero que este trabajo sirva de ayuda para quienes también tengan la inquietud de saber sobre el quehacer matemático llevado a cabo en la Nueva España, así como motivar a las nuevas generaciones a interesarse en este pasado poco conocido y que creo que tiene mucha riqueza guardada, así como conocer y dar a conocer que personajes cultivaron la matemática en nuestro país. Contar con un documento de esta naturaleza, donde se plasme este pasado se considera importante, pues en él se encontrará material interesante que forma parte de nuestra cultura científica.

Son varias fuentes consultadas para la realización de este trabajo; que alguna involuntaria omisión me sea perdonada.

1 LAS MATEMÁTICAS Y LA ASTRONOMÍA DURANTE Y DESPUÉS DEL RENACIMIENTO

1.1 Antecedentes

En Europa, entre los siglos XIII y XVI tuvo lugar la transición bien definida de la antigua a la moderna matemática. Aunque antes del siglo XIII las matemáticas ya estaban maduras para la transición según lo señala Eric Temple;¹ el cambio se retrasó debido al caos social reinante, caracterizado por pugnas políticas y toda clase de inestabilidad social y económica; además de los azotes de pestes que vivió Europa en ese tiempo. En el siglo XV Constantinopla se rindió a los Turcos, y la cultura oriental encontró la acogida más hospitalaria en Italia. En esta época ocurrió algo de importancia: la fundación de bibliotecas.² Aproximadamente en 1450 se inició en Europa la impresión de libros con caracteres móviles. En los primeros cincuenta años del uso de la imprenta en Europa, sólo Italia produjo unos 200 libros de matemáticas. Durante el siglo siguiente, aparecieron algo más de 2500. La mayoría eran textos elementales; y cuando se imprimía una obra matemática, aunque fuera demasiado formal era propiedad pública, este hecho fue importante para la divulgación de las matemáticas además de la aparición de revistas dedicadas a las matemáticas³. La imprenta también fomentó las matemáticas gracias a su exigencia económica de un simbolismo uniforme y simplificado. También contribuyó enormemente a hacer los libros disponibles a cualquier persona. A la par de esta contribución, se produjeron las traducciones de las obras escritas en latín en lenguas vernáculas como francés, alemán y las diversas lenguas italianas.⁴

La reactivación de los estudios matemáticos en occidente se produce en tres fases bien definidas. La primera a la que puede denominarse “primer renacimiento” o “pre renacimiento” se desarrolla durante los siglos XIII y XIV y está caracterizada por la lenta asimilación de la matemática clásica. Su centro geográfico es París, la rama más cultivada es la aritmética o arte de

¹ Bell, Eric Temple, *Historia de las matemáticas*, Fondo de Cultura Económica, México, 1946, p. 117.

² *Ibidem*, p. 117.

³ *Ibidem*, p. 120.

⁴ Kline, Morris, *El pensamiento matemático de la antigüedad hasta nuestros días*, vol. I, Ed. Alianza, Madrid, 1992, p. 296.

calcular, la figura cumbre que agrupa y sistematiza lo conocido hasta entonces es Leonardo de Pisa. La segunda fase, la del "segundo renacimiento", tiene lugar a lo largo del siglo XV con la eclosión de una rama prácticamente nueva, el álgebra, y culmina con la famosa *Summa* de Luca Pacioli (1445-1509), publicada en 1494. A partir de ese momento los estudios de la matemática seguirían una clara línea aritmético-algebraica bajo los nombres de "arte mayor" o "regla de la cosa"; nos hallamos en la tercera fase, la del renacimiento en plenitud.

La fundación de las academias tuvieron su importancia en parte para difundir la educación y por otra para proporcionar un lugar de encuentro para la comunicación entre los estudiosos. Las primeras academias que se fundaron, fueron la Academia Florentina y la Academia de Lincei. Estas academias fueron las precursoras de las más famosas, fundadas más tarde en Inglaterra, Francia, Italia y Alemania y que fueron muy útiles en la difusión del conocimiento.⁵

Las universidades de los siglos XV y XVI casi no jugaron un papel importante en estos avances. La teología gobernaba las universidades y su estudio era el propósito del aprendizaje. El conocimiento era considerado completo y cerrado. Las universidades enseñaban aritmética, geometría, astronomía y música, pero la astronomía estaba basada en la de Ptolomeo y no era observacional. La filosofía natural significaba el estudio de la *Física* de Aristóteles.

Una nueva era económica tuvo lugar como producto de un crecimiento enorme en el manufacturado, minería, navegación, agricultura en gran escala y una gran variedad de oficios. Cada una de estas empresas encontró problemas técnicos. Trabajadores independientes y patronos con asalariados otorgaban incentivos para pensar e inventar mecanismos que ahorraran trabajo.

La clase de los comerciantes contribuyó a instaurar un nuevo orden en Europa promoviendo las exploraciones geográficas de los siglos XV y XVI. Inducidas por la necesidad de disponer de mejores rutas para el comercio y de proveedores de mercancía, las exploraciones trajeron a Europa mucho conocimiento de tierras extrañas, plantas, animales, climas, formas de vida, creencias y costumbres. El modo de producción feudal fue destruido paulatinamente al introducirse la actividad financiero-bancaria y el comercio a larga distancia. Los nuevos esquemas conducirían eventualmente al capitalismo.

En el terreno social, la vida en las ciudades dispuso un nuevo orden de cosas; hubo una disolución de ciertos estamentos y una mayor movilidad respecto a los siglos anteriores. La burguesía era la clase pujante, en ascenso, que desde el siglo XVI se alió a la monarquía para conseguir beneficios económicos. Así mismo, las actividades marítimas ofrecieron mayores oportunidades, pues los descubrimientos geográficos fuera de Europa permitieron la adquisición de propiedades y riqueza.

En el campo filosófico o del pensamiento hay una clara ruptura con respecto a las ideas anteriores. En algunos países se dio la separación con la escolástica; a ello contribuyó el Renacimiento que a través del puente tendido por el humanismo, retomó viejas corrientes de la antigüedad clásica; así los humanistas veneran el pasado y aceptaron ciegamente las obras griegas y se enfrascaron en su lectura, a costa incluso de tener que hacer laboriosos estudios filológicos para determinar el significado de palabras dudosas. Debe observarse que prepararon la atmósfera para el resurgimiento de la razón, que propagaron las ideas griegas por toda Europa, secularizaron la educación y fomentaron el individualismo, el aprendizaje por experiencia y el estudio del mundo natural.

Al periodo consagrado a la recopilación y estudio de los clásicos, siguió otro en el que los intelectuales buscaron por distintos rumbos, doctrinas y métodos practicables y fecundos a fin de

⁵ *Ibidem*, p. 297.

reemplazar, o por lo menos alterar la cultura del medioevo dándose así, una revolución científica motivada por la apertura hacia la observación de los fenómenos naturales y cósmicos, que exigió para su explicación un nuevo método matemático, que culminó en Descartes y un modelo basado en la deducción y en la inducción (Bacon), y se dio paso también a la difusión del sistema heliocéntrico copernicano. Muchos pensadores europeos lograron escapar del círculo de la especulación basada en principios dogmáticos, de significados vagos y extraños a la experiencia, y prefirieron la investigación como obra humana en lugar de la autoridad de las relaciones divinas, lo que abrió los caminos al racionalismo científico así como a la multiplicidad de credos que surgieron por la Reforma, y todo ello, paulatinamente, dio lugar a la búsqueda de tolerancia. Se vislumbra una nueva actitud en el hombre de esta época hacia la apertura, contra el autoritarismo, imponiendo la fuerza de la razón empírica sobre la dogmática. Surgió la necesidad de conocer el entorno, por las nuevas condiciones políticas, por la posibilidad de ensanchar los confines conocidos de la cristiandad y para aprovechar los recursos de manera mas eficiente. El fin fue dominar la naturaleza para el bienestar general.⁶ El desarrollo del conocimiento científico tuvo una aceleración entre los siglos XVI y XVII que condujo a una revolución conceptual y metodológica, así como a su institucionalización.

Las dudas sobre la solidez de la ciencia y de la cosmología de la Iglesia suscitadas por la observación directa o por la información filtrada a Europa por exploradores y mercaderes, las objeciones al nuevo modo de observar la naturaleza, la degeneración de algunos dignatarios de la Iglesia y prácticas corruptas de la misma, culminaron en la reforma protestante.

La Reforma como tal no liberalizó el pensamiento ni liberó las mentes. Los dirigentes protestantes sólo querían establecer su propio dogmatismo.⁷ Sin embargo, al suscitar cuestiones referentes a la naturaleza de los sacramentos, a la autoridad del gobierno de la Iglesia, y al significado de algunos pasajes de las escrituras, Lutero, Calvino, y Zuinglio involuntariamente estimularon a mucha gente para pensar y provocar la discusión. Los protestantes para ganar adeptos, afirmaron que el juicio individual, en vez de la autoridad papal, era la base de las creencias. Se reforzaron modificaciones en estas creencias. Muchos puestos a elegir entre lo que decían los católicos o los protestantes, se desentendían de ambos y se volvían hacia las dos fes de la naturaleza, la observación y la experimentación, como fuentes del conocimiento.

La Iglesia católica no sólo se vio obligada a resistir la amenaza protestante, sino que, para sobrevivir, necesitó adecuarse a los cambios que representó el tránsito de la Edad Media a la modernidad, siendo esta transformación difícil dando como resultado a la Reforma católica o Contrarreforma. Los acuerdos para transformar la Iglesia fueron llevados a cabo en el concilio de Trento.

La compañía de Jesús surgió de esta coyuntura e impulsó más los valores de la modernidad en relación al orden, la disciplina, el trabajo y la administración, que los de la tradición, fundamentalmente en teología y filosofía. Es conocido el interés que pusieron los jesuitas en la educación y sus esfuerzos se encaminaron a la transformación de los antiguos patrones didácticos en el campo de la pedagogía.⁸ Por eso no es raro encontrar en la historia de la ciencia hombres que cultivaron la ciencia y que fueron jesuitas. Como el objetivo de este trabajo se centra en el campo de las matemáticas, en adelante se hará referencia a los avances que experimentaron durante el Renacimiento.

⁶ Mayer, Alicia, *Dos americanos, dos pensamientos: Carlos de Sigüenza y Cotton Mather*, Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM, México, 1998, p. 22.

⁷ Kline, Morris, *op. cit.*, p. 293.

⁸ Mayer, Alicia, *op. cit.*, p. 26.

1.2 Trigonometría

Hasta 1450, trigonometría esférica era la que más predominaba; aproximadamente hacia esa fecha, la trigonometría plana comenzó a tener importancia en agrimensura. El trabajo sobre trigonometría fue motivado por la navegación, el cálculo del calendario y la astronomía. También aumentó el interés con la difusión de la teoría heliocéntrica.

Entre los muchos que construyeron tablas para el auxilio de la astronomía, en los siglos XV y XVI puede mencionarse a George Joachim Rhaeticus (1514-1576), Nicolás Copérnico (1473-1543), Francois Vieta (1540-1603) y Pitiscus (1561-1613). Pitiscus publicó un importante trabajo trigonométrico llamado, *Trigonometriae sirve de dimensiones triangulorum libri quinque*, en el cual modernizó el tratamiento sobre la materia y la palabra "trigonometría" apareció por primera vez como título de un libro sobre el tema.⁹ Su obra amplió y mejoró los trabajos de sus antecesores, reuniendo sus conclusiones en el tratado más completo y sistemático de trigonometría de ese entonces. Una característica de sus trabajos fue la utilización de radios cada vez con un mayor número de unidades, de manera que los valores de las cantidades trigonométricas podían obtenerse de una forma más precisa, sin necesidad de utilizar fracciones o decimales. De esta manera reelaboró las tablas de Rhaeticus en su *Thesaurus mathematicus* publicado en Frankfurt en 1613, convirtiéndose en la fuente más segura para cálculos trigonométricos. Su obra sería notable superada solamente por Vieta.¹⁰

Johannes Werner (1468-1528) fue un matemático renacentista alemán que escribió una obra trigonométrica llamada *De triangulis per maximorum circulorum segmenta constructis libri quinque*. La dedicación de Werner a este campo de la matemática le fue impuesta por sus ocupaciones de astrónomo y geógrafo. Su aportación a la trigonometría es la prostaféresis, método de cálculo que permite remplazar los productos: $\cos(a)\cos(b)$, $\sin(a)\sin(b)$, $\sin(a)\cos(b)$ y $\cos(a)\sin(b)$ por fórmulas que permitían convertir dichos productos de funciones circulares en una suma o diferencia. Este artificio se adoptó en todos los observatorios astronómicos importantes.¹¹

Los cocientes, por su parte, se manejaban de la misma manera, pero utilizando tablas de secantes y cosecantes. Posiblemente esto motivó a Napier a inventar su sistema de logaritmos, por lo cual no fue fruto de especulaciones teóricas sino de intuiciones y exigencias prácticas.

La labor de Pedro Apiano (1495-1552) en el campo de la trigonometría fue eminentemente práctica, por lo cual destacan las tablas de senos elaboradas por él publicadas en 1553 y su *Instrumentbuch* (Inglostad, 1533) tratado en donde describe el funcionamiento de un instrumento para determinar de forma mecánica los senos y cosenos de los ángulos situados en el primer cuadrante.

Gemma Frisius (1508-1555) abre un nuevo campo de aplicaciones a la trigonometría con el desarrollo del sistema de triangulaciones. Las bases de este método para determinar distancias entre puntos de la superficie terrestre se exponen en su *Libellus* (1553).

Johannes Müller (1436-1476), conocido como Regiomontano, revitalizó la trigonometría en su obra *De triangulis omnimodis*. Se suele atribuir a Regiomontano la separación deliberada de la trigonometría de la astronomía.¹² Esta obra consta de cinco libros: los dos primeros tratan esencialmente de trigonometría plana haciendo una exposición sistemática de los métodos de

⁹ Ball, W.W, Rouse, *A short account of the history of mathematics*, Dover publications, New York, 1960, p. 611.

¹⁰ Cid, Felipe, *Historia de la ciencia*, vol. II, Ed Planeta, Barcelona, 1979, p. 121.

¹¹ Pastor, J. Rey, *Historia de las matemáticas*, vol. II, Gedisa, Barcelona, 1997, p. 15.

¹² Kline, Morris, *op. cit.*, p. 321.

resolución de triángulos, mientras que los tres últimos lo hacen de trigonometría esférica. Regiomontano construyó una tabla de senos basada en un radio de 600 000 unidades y otra basada en un radio de 10 000 000 unidades.¹³ En la *Tabulae directiorum* dio tablas de tangentes de cinco cifras y subdivisiones decimales de los ángulos. En la citada obra *De triangulis omnimodis*, reunió de una forma más efectiva, el conocimiento disponible en trigonometría plana, geometría esférica y trigonometría esférica.

George Joachim Rhaeticus (1514-1576) escribió un tratado titulado *Opus palatinum de triangulis*. Esta obra, de dos volúmenes, no trata ya las funciones en términos de arcos de círculos sino que define las funciones trigonométricas en términos de razón entre los lados de un triángulo rectángulo.¹⁴ También expone con detalle el método estereométrico para efectuar los cálculos en trigonometría esférica y se agrupan por vez primera las seis funciones habituales.

Tomas Fink (1561-1636) en su *Geometría rotundi*, también utiliza las seis funciones habituales y asigna como secante y tangente a dos de ellas, mientras que Willerbrord Snell (1581-1626) escribió un trabajo sobre trigonometría llamado *Doctrina triangulorum canonica*, el cual da fórmulas útiles para abreviar el cálculo de las funciones trigonométricas. También en su *Erathostenes batavus*, Snell aplica el método de triangulación a la medición de un grado terrestre.

Francois Vieta (1540-1603) un matemático del siglo XVI, escribió un libro titulado *Canon mathematicus* siendo el primero de sus trabajos en trigonometría. En él reunió las fórmulas para la resolución de triángulos rectos y oblicuos, e incluyó su propia contribución a la ley de las tangentes, y para triángulos esféricos rectos proporcionó el conjunto completo de fórmulas que se necesitan para cualquier elemento de un triángulo en términos de otros dos cualesquiera. También aportó la regla de los cosenos que relaciona los ángulos de un triángulo esférico oblicuo,¹⁵ y obtuvo varias identidades trigonométricas utilizadas actualmente en la trigonometría plana, siendo aquí, donde se puede apreciar más claramente lo que supone la generalización de Vieta a la trigonometría. Su principal contribución fue la aplicación sistemática de los cálculos y transformaciones del álgebra al estudio de la trigonometría en el manejo de las seis funciones habituales.

Con la obra de Vieta se completó prácticamente la trigonometría elemental (no analítica) desde el punto de vista teórico. Entre 1610 y 1630 culmina este proceso de sistematización, generalización y simplificación a nivel de cálculo gracias a la introducción de los logaritmos. Un siglo más tarde Euler se encargaría de dar su forma actual a la trigonometría, tanto en su método expositivo como en su simbolismo.

¹³ *Ibidem*, p. 321.

¹⁴ Collette, Jean paul, *Historia de las matemáticas*, vol. I, siglo XXI, México, 1986, p. 278.

¹⁵ *Ibidem*, p. 321.

1.3 La situación del sistema numérico y la aritmética

Los primeros desarrollos matemáticos europeos de importancia tuvieron lugar en la aritmética y el álgebra. Para mediados del siglo XVI, las necesidades prácticas y científicas de la civilización europea exigían más avances en aritmética y en álgebra; al mismo tiempo, el interés en conectar la nueva teoría astronómica con las cada vez más precisas observaciones, exigía mejores tablas astronómicas, lo que a su vez, significaba disponer de tablas trigonométricas más precisas. para la navegación y las exploraciones geográficas y el desarrollo de la actividad bancaria y comercial pedía una mejor aritmética. Se evidenció en estos intereses el trabajo intelectual de algunos hombres dedicados a estos menesteres. El trabajo técnico de los artesanos, especialmente en arquitectura, la fabricación de cañones y el movimiento de proyectiles necesitaban un nuevo pensamiento cuantitativo. Además de estas aplicaciones, una utilización totalmente nueva del álgebra, la representación de curvas, motivó varios trabajos; bajo estas necesidades se aceleró el progreso en álgebra.

Una de las ramas de la matemática más cultivadas en los inicios del Renacimiento es la aritmética y fueron las compilaciones medievales las que sirvieron de base durante siglos a los manuales de cálculo. El estudio de las matemáticas como sistema deductivo de proposiciones organizado lógicamente había desaparecido prácticamente en el curso de la Edad Media limitándose su uso a las operaciones prácticas de cálculo en transacciones comerciales y monetarias.

La aritmética sería cultivada a lo largo de los siglos XV, XVI y gran parte del XVII, siendo el siglo XVI la edad de oro de las aritméticas prácticas¹⁶ debido a las operaciones mercantiles y porque formaba parte del programa de estudios del Cuadrivium -geometría, aritmética, astronomía y música-.

Uno de los libros más representativos de esta área es el *Summa* de Luca Pacioli, cuyo contenido es el que prevalecía en la mayoría de las obras dedicadas a la aritmética. En el *Summa* se expone la clasificación pitagórica de los números (cuadrados, triangulares, perfectos, etc.) y la teoría de los poliedros. También se exponen las operaciones aritméticas fundamentales: adición (un método), sustracción (tres métodos), multiplicación (ocho métodos), división (cuatro métodos), cálculo de progresiones aritméticas, extracción de raíces cuadradas y cúbicas y potenciación; posteriormente se aborda el estudio de las fracciones, con el que concluye la parte dedicada al cálculo aritmético. Este libro tiene una segunda parte dedicada al estudio del álgebra en la cual examina las ecuaciones de primero y segundo grado, dando para estas últimas métodos nemotécnicos; en cuanto a las ecuaciones de grados superiores, indica la posibilidad de resolverlos en ciertos casos particulares, pero afirma que por regla general su resolución es imposible.

Hacia el año 1500 se acepta el cero como un número y los números irracionales se usaron con más libertad. Ya se manejaban números irracionales de la forma $\sqrt{a + \sqrt{b}}$. La medida en que se llegaron a utilizar los números irracionales viene en la expresión utilizada por Vieta para hallar el valor de π :

$$\frac{2}{\pi} = \cos \frac{\pi}{4} \cos \frac{\pi}{8} \cos \frac{\pi}{16} \dots = \sqrt{\frac{1}{2}} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2}}} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2} + \frac{1}{2} \sqrt{\frac{1}{2}}}} \dots$$

¹⁶ Cid Felipe, *op. cit.*, p. 103.

Aunque los cálculos con números irracionales se efectuaban con libertad, el problema de que si tales expresiones eran realmente números era aún fuente de inquietud. Michel Stifel (1486-1567) considera la expresabilidad de los irracionales en notación decimal. Argumenta que los números son enteros o fraccionarios; los irracionales no son ni una cosa ni la otra, luego no son realmente números, contrariamente a lo que afirmaba Simon Stevin (1548-1620) de que sí lo eran y los aproximaba cada vez más por racionales. Otros hicieron afirmaciones de que los números irracionales eran identidades independientes. También Descartes (1596-1650), en las *Reglas para la dirección del espíritu* admitía a los irracionales como números abstractos que pueden representar magnitudes continuas.¹⁷

En cuanto a los números negativos, aunque conocidos en Europa a través de los textos árabes, no eran aceptados como números por la mayoría de los matemáticos de los siglos XVI y XVII, o si lo eran, nunca como raíces de ecuaciones. Nicolás Chuquet (1445-1500) en el siglo XV y Stifel (1553) en el siglo XVI hablaban de los números negativos como absurdos. Cardano (1501-1576) daba números negativos como raíces de ecuaciones, pero los consideraba soluciones imposibles, meros símbolos, llamándolos "ficticios", mientras que a las raíces positivas las llamaba reales. Vieta descartaba totalmente a los números negativos. Descartes los aceptaba en parte; llamaba "falsas" a las raíces negativas de las ecuaciones.

Un interesante argumento en contra de los números negativos lo dio Antonie Arnauld (1612-1694), teólogo y matemático. Él cuestionaba que $-1 : 1 = 1 : -1$, ya que, según decía, -1 es menor que $+1$, y, por tanto, ¿cómo iba a ser un menor a un mayor como un mayor a un menor? Uno de los algebristas que aceptó los números negativos fue Thomas Harriot (1595-1621), que de vez en cuando ponía un número negativo sólo como segundo miembro de una ecuación, aunque no aceptaba raíces negativas. Albert Girard (1595-1632) colocaba los números negativos en paridad con los positivos, y daba las dos raíces de la ecuación de segundo grado, incluso si ambas eran negativas. Tanto Girard como Harriot usaban el signo "menos" para la operación de sustracción y para los números negativos.¹⁸

Aún sin haber vencido completamente sus dificultades con los números irracionales y negativos, los europeos se encontraron con más problemas con lo que hoy llamamos números complejos. Obtuvieron dichos números extendiendo la operación aritmética de la raíz cuadrada a números cualesquiera que apareciesen al resolver ecuaciones de segundo grado por el método usual de completar el cuadrado. Así Cardano en su *Ars Magna* plantea y resuelve el problema de dividir 10 en dos partes cuyo producto sea 40, cuya ecuación es $x(10 - x) = 40$. Obtiene las raíces $5 + \sqrt{-15}$ y $5 - \sqrt{-15}$ cuyo producto es $25 - (-15) = 40$. Cardano también se encontró con los números complejos al resolver la ecuación de tercer grado. También Bombelli (1530-?) consideraba números complejos en la solución de ecuaciones de tercer grado y formuló en forma casi igual a la de hoy en día las cuatro operaciones con números complejos, aunque los consideraba como inútiles y sofisticos.¹⁹

Los matemáticos del siglo XVI se encontraron con los números complejos al resolver la ecuación de tercer grado, es decir al caso en que $(q/2)^2 + (p/3)^3 < 0$ al que llamaron caso irreducible de la ecuación de tercer grado. Pero se dieron cuenta que al operar las soluciones complejas de este caso, la cúbica tiene tres soluciones reales. Esto sorprendió a los algebristas del siglo XVI y pasó mucho tiempo antes de que pudieran resolverlo. En uno de tantos intentos por resolverlo se dieron

¹⁷ Kline, Morris, *op. cit.*, p. 337.

¹⁸ *Ibidem*, p. 338.

¹⁹ B. Boyer, *op. cit.*, p. 367.

cuenta que si operaban los números complejos como números reales obtenían una solución. A finales del siglo XVI, Bombelli observa que, en algunos casos particulares se logra obtener una raíz real operando con números complejos como si fuesen números “comunes y corrientes”. Nos encontramos pues que hasta este momento los números complejos habían aparecido exclusivamente en relación con la resolución de ecuaciones algebraicas.

También Descartes rechazó las raíces complejas, acuñando para ellas el término “imaginarias”; Newton (1642-1727) no consideraba las raíces complejas como significativas, probablemente por que en su tiempo carecían de sentido físico y Leibniz (1646-1716) aunque trabajaba formalmente con números complejos, no entendía su naturaleza.

Durante los siglos XVI y XVII, los métodos operativos con números reales fueron mejorados y extendidos. En Bélgica encontramos a Stevin en *La Disme* (Aritmética Decimal) abogando por el uso de los decimales, en oposición al sistema sexagesimal.²⁰ Otros como Christoff Rudolff (1550-1545), Vieta y el árabe Al Kashî (m. hacia 1436) los habían utilizado previamente. Stevin recomendaba la adopción de un sistema decimal de pesos y medidas, en la idea de ahorrar tiempo y trabajo a los contables. Escribía por ejemplo 5.912 como $5.9 \cdot 1 \cdot 2 \dots$ ²¹

El uso de fracciones continuas en la aritmética constituye otro de los desarrollos de este período. Los hindúes habían utilizado fracciones continuas para resolver ecuaciones lineales indeterminadas. Bombelli en su *Álgebra*, fue el primero en usarlas para aproximar raíces cuadradas.²² Para aproximar $\sqrt{2}$ escribe

$$\sqrt{2} = 1 + \frac{1}{2 + \frac{1}{2 + \frac{1}{2 + \frac{1}{2 + \dots}}}}$$

Bombelli dio ejemplos de cómo obtener fracciones continuas pero no consideró la cuestión de si los desarrollos convergían hacia los números que se suponía representaban. Más tarde se desarrollaría la teoría de las fracciones continuas y de sus aplicaciones a la extracción de raíces en un trabajo titulado *Trattato del modo brevissimo di trovare quadra delli numeri* de Pier Antonio Cataldi (1548-1626).²³

El matemático inglés John Wallis (1616-1703), en su *Aritmetica Infinitorum* representa $\frac{4}{\pi}$ como el producto infinito²⁴

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{3}{4} \cdot \frac{5}{4} \cdot \frac{5}{6} \cdot \frac{7}{6} \cdot \frac{7}{8} \dots$$

En este libro afirma que había transformado este producto en la fracción continua

²⁰ Katz, Victor, J., *A history of mathematics an introduction*, Harper and Collins, New York, 1993, p. 346.

²¹ B. Boyer, Carl *Historia de la matemática*, Ed. Alianza, Madrid, 1986, p. 402.

²² Kline, Morris, *op. cit.*, p. 341.

²³ Mieli, Aldo, *Panorama general de historia de la ciencia*, vol. V, Espasa-calpe, Buenos Aires, 1952, p. 98.

²⁴ Kline, Morris, *op. cit.*, p. 342.

$$\frac{4}{\pi} = 1 + \frac{1}{2 + \frac{9}{2 + \frac{25}{2 + \frac{49}{2 + \dots}}}}$$

Wallis en su *Opera Mathematica*, en la que introdujo el término “fracción continua”, dio la regla general para calcular la convergencia de una fracción continua.

El avance de la aritmética durante los siglos XVI y XVII fue la invención de los logaritmos por John Napier (1550-1617). Su idea central era la de construir dos sucesiones de números de tal manera relacionadas que cuando una aumentara en progresión aritmética, la otra decreciera en forma geométrica. entonces el producto de dos números en la segunda sucesión tenía una simple relación con la suma de los números correspondientes de la primera y la multiplicación podía ser reducida a la adición. Con este sistema Napier podía considerablemente facilitar el trabajo de cómputo con senos. Estas ideas están explicadas en *Merifici Logarithmorum Canonis Constructio*. y aún no se tenía la noción de base. La característica de la invención de Neper es doble: por un lado, preocupado por los cálculos astronómicos, dio logaritmos de senos; y por otra parte introdujo sus logaritmos de una manera cinemática con lo que, implícitamente, tuvo en cuenta la continuidad de la función logarítmica.²⁵

Henry Briggs (1552-1632) sugirió a Neper que se utilizase 10 como base, y que el logaritmo de un número fuese el exponente en la potencia de 10 que igualase dicho número. Por tanto Briggs elige primero la base y calcula sus logaritmos tomando raíces cuadradas sucesivas de 10 hasta alcanzar después de 54 extracciones, un número ligeramente mayor que 1. Es decir, obtuvo el número $A = 10^{1/2^{54}}$. Tomó entonces $\log_{10} A$ como $(1/2)^{54}$. Usando el hecho de que el logaritmo de un producto de números es la suma de sus logaritmos, construyó una tabla de logaritmos de números muy próximos entre sí. Los logaritmos naturales, basados en la función $y = e^x$ aparecieron casi contemporáneamente con los logaritmos de Briggs, pero su importancia fundamental no fue reconocida hasta el cálculo diferencial e integral fue mejor entendido²⁶.

El tema de la interpolación y el cálculo de diferencias aparece pronto y continúa a lo largo de todo el siglo XVII en virtud de razones teóricas y prácticas a la vez. En efecto una de las grandes tareas de la época es el cálculo de tablas trigonométricas, logarítmicas y náuticas, que se habían hecho necesarias a causa de los rápidos progresos de la geografía, de la navegación, de la astronomía teórica y práctica, de la física y mecánica celeste. Muchos de los matemáticos más eminentes, desde Kepler (1571-1630) hasta Huygens (1629-1695) y Newton, toman parte en ella bien sea directamente, bien sea mediante la investigación teórica de los procedimientos de aproximación más eficaces.²⁷

²⁵ Mieli, Aldo, *op. cit.*, p. 94.

²⁶ Dirk, Jan Struik, *Historia concisa de las matemáticas*, IPN, México, 1986, p. 129.

²⁷ Bourbaki, Nicolás, *Elementos de historia de las matemáticas*, Ed. Alianza, Madrid, 1976, p. 295.

1.4 El simbolismo

Hubo un avance en el álgebra que dio buen resultado para su propio desarrollo y el del análisis y este consistió en la introducción de un mejor simbolismo. Todos los cambios de notación eran esencialmente abreviaturas de palabras normales introducidas de forma un tanto accidental. En el Renacimiento, el estilo habitual de simbolización era aún retórico, con uso de palabras especiales, abreviaturas y, por supuesto los símbolos de los números.

Se señalan tres fases históricas del álgebra a las que se les califica con los nombres de Retórica, Sincopada y Simbólica. En la primera fase, la retórica, tanto el enunciado como la solución de un problema algebraico eran totalmente verbales. La fase media, la Sincopada, se distinguía de la primera porque a los conceptos y las operaciones que se representaban con mayor frecuencia por abreviaturas. La tercera fase, la simbólica, representa un álgebra completamente dotada de símbolos, tanto con respecto a sus operaciones como a sus conceptos.²⁸

Posiblemente las primeras abreviaturas, usadas del siglo XV en adelante, fueron P para “más” y M para “menos”, pero durante el Renacimiento, especialmente en los siglos XVI y XVII, se introdujeron símbolos especiales. Los símbolos + y - fueron introducidos por los alemanes en el siglo XV para denotar excesos y defectos en los pesos de cofres y arcas; algunos matemáticos los adoptaron y aparecen en los manuscritos desde 1481. El símbolo de multiplicación se debe a William Oughtred (1574-1660), aunque Leibniz planteó la certera objeción de que podría confundirse con la letra x y utilizó el símbolo \cap . Descartes indicaba la multiplicación por yuxtaposición de los números e incógnitas involucrados por ejemplo, $ab, 3x$.²⁹

El símbolo = fue introducido en 1557 por Robert Recode (1510-1558). Vieta al principio escribía “aequalis”, usó después para la igualdad. Los símbolos > y < se deben a Thomas Harriot. Los paréntesis aparecen en 1544, y los corchetes y llaves, introducidos por Vieta, datan de 1593, aproximadamente. El símbolo de raíz cuadrada, era utilizado por Descartes, existiendo otro símbolo para la raíz cúbica y este era una \sqrt{c} .³⁰

Para representar la división Oughtred empleo un punto, Leibniz empleo el símbolo \cup , y el símbolo $:-:$ fue usado por Barrow (1630-1677). El símbolo $::$ para denotar proporción o la igualdad de dos razones fue introducido por Oughtred. El símbolo de infinito fue empleado por primera vez por Wallis en 1655 en su *Arithmetica infinitorum*.³¹

El uso de símbolos para las incógnitas y sus potencias tuvo un desarrollo lento. Algunos autores se referían a la incógnita como res (“cosa” en latín), cosa (“cosa” en italiano) y coss (“cosa” en alemán), razón por la cual el álgebra llegó a ser conocido como “arte cósmico”.³²

Muchos símbolos se derivan de abreviaturas: por ejemplo, la segunda potencia era representada por Z (de zensus) se llamaba quadratum o censo. C tomado de cubus, denotaba x^3 .

Los exponentes fueron gradualmente introducidos para denotar las potencias de x. En 1484, Nicolás Chuquet (?-1500), en *Triparty*, escribía 12^3 , 10^5 , y 120^8 para denotar $12x^3$, $10x^5$, y $120x^8$. También denotaba 12^0 por $12x^0$ y 7^{1m} por $7x^{-1}$.³³

²⁸ Bell, Eric, *op. cit.*, p. 132.

²⁹ Ball, W.W, *op. cit.*, p. 241.

³⁰ Kline, Morris, *op. cit.*, p. 347.

³¹ Ball, W.W, *op. cit.*, p. 241.

³² Kline, Morris, *op. cit.*, p. 348.

³³ *Ibidem*, p. 348.

Stevin utilizó exponentes fraccionarios para denotar las raíces y Claude Bachet de Mézirac (1581-1638) escribía $x^3 + 13x^2 + 5x + 2$ como $1C + 13Q + 5N + 2$. Vieta usaba la misma notación para las ecuaciones con coeficientes numéricos.³⁴

Descartes hizo un uso bastante sistemático de los exponentes enteros positivos. Expresaba $1 + 3x + 6x^2$ como $1 + 3x + 6xx$ y Newton usaba exponentes positivos, negativos y fraccionarios.

El cambio que tuvo importancia en el carácter del álgebra fue introducido por Francois Vieta en relación con el simbolismo. Fue el primero en emplear letras sistemáticamente y con un propósito, no solo para representar una incógnita o las potencias de una incógnita, sino como coeficientes generales. Habitualmente usaba consonantes para las cantidades conocidas y vocales para las desconocidas. Llamaba a su álgebra simbólica *Logistica speciosa* y trazó la línea divisoria entre la aritmética y el álgebra. El álgebra, la *logistica speciosa*, dijo, es un método de operar con especies o formas de cosas, mientras que la aritmética, la *logistica numerosa*, trata de números.³⁵

A Descartes se le deben ciertas mejoras en el uso de las letras de Vieta. Empleaba las primeras letras del alfabeto para las cantidades conocidas, y las últimas para las incógnitas, como se hace actualmente.

1.5 La solución de las ecuaciones de tercer y cuarto grado

El álgebra, se expandió rápidamente durante los siglos XVI y XVII. Por haber estado ligada a la geometría, antes de 1500 las ecuaciones de grado superior al tercero eran consideradas irreales. El estudio de las ecuaciones de grado superior fue necesario a los matemáticos por ejemplo, por el uso de las identidades trigonométricas como ayuda en el cálculo de tablas de valores trigonométricos o fue sugerido como extensión natural de las ecuaciones de segundo grado. La solución de las ecuaciones de segundo grado por el método de completar el cuadrado era conocida desde la época de los babilonios, y prácticamente el único progreso en este tema hasta 1500 fue llevado a cabo por los hindúes, quienes trataban ecuaciones como $x^2 + 3x + 2$ y $x^2 - 3x - 2$, mientras que sus predecesores, e incluso la mayoría de sus sucesores renacentistas, preferían tratar la última en la forma $x^2 = 3x + 2$.³⁶

Scipione dal Ferro, resolvió hacia 1500 ecuaciones del tipo $x^3 + mx = n$. Tartaglia (1506-1557) ya resolvía ecuaciones cúbicas de la forma $x^3 + mx = n$, con m y n positivos como también las de la forma

$$x^3 + m^2 = n$$

Cardano publicó su versión del método en su obra *Ars Magna* para resolver la ecuación cúbica. Él ilustra su método con la ecuación $x^3 + mx = n$. También resuelve ecuaciones de los tipos:

$$x^3 = mx + n, \quad x^3 + mx + n = 0, \quad x^3 + n = mx$$

³⁴ *Ibidem*, p. 349.

³⁵ *Ibidem*, p. 350.

³⁶ *Ibidem*, p. 352.

Vieta, en *De Aequationum Recognitione et Emendatione*, pudo resolver el caso irreducible de la ecuación de tercer grado empleando una identidad trigonométrica como $\cos 3A \equiv 4 \cos^3 A - 3 \cos A$ evitando así la fórmula de Cardano.³⁷

Al haber resuelto la ecuación de tercer grado los matemáticos renacentistas, siguió la resolución de la de cuarto grado. El método para resolver dicha ecuación se debe a Ludovico Ferrari (1522-1560), y fue publicado en el *Ars Magna* de Cardano.³⁸

Para presentar el método de Ferrari, Cardano en su obra *Ars Magna*, resuelve una multitud de casos especiales. Así resuelve ecuaciones de los tipos³⁹

$$x^4 = bx^2 + ax + n, \quad x^4 = bx^3 + cx^2 + n$$

$$x^4 = cx^3 + n, \quad x^4 = ax + n$$

A base de resolver numerosos ejemplos de ecuaciones de tercer grado y cuarto grado, Cardano, Tartaglia y Ferrari dieron prueba de haber buscado y obtenido métodos que funcionaban para todos los casos de los grados respectivos. El interés de la generalidad es una característica nueva. Vieta que ya había hecho posible la generalidad en la demostración mediante la introducción de los coeficientes literales, buscaba otro tipo de generalidad. Buscó un método que fuese válido para las ecuaciones de cualquier grado. Su primera idea fue eliminar el término de grado inmediatamente inferior al máximo por una transformación lineal en la incógnita.⁴⁰ Cardano ya había hecho esto para la cúbica; Vieta apreció la importancia de este paso como procedimiento general.

Vieta en su opúsculo *Isagoge*, para resolver la ecuación de tercer grado $x^3 + bx^2 + cx + d = 0$, comienza haciendo una sustitución de la forma $x = y - b/3$. Esta sustitución da lugar a la siguiente ecuación:⁴¹

$$y^3 + py + q = 0$$

En esta obra el germen de la teoría de las transformaciones lineales que luego se habrían de ramificar por toda el álgebra y después, con el concepto de invariante, por toda la matemática. Vieta también resolvió ecuaciones de cuarto grado siguiendo un método parecido al de Ferrari.

Otro método general explorado por Vieta es la descomposición del polinomio en factores de primer grado, por ejemplo, $x^2 + 5x + 6 = (x + 2)(x + 3)$. No tuvo éxito en ello, en parte por rechazar las raíces que no fueran positivas, y en parte por no poseer una teoría suficiente, como el teorema del factor en la cual basar un método general.⁴²

La cuestión del número de raíces que puede tener una ecuación fue objeto de atención. Cardano pensó que una ecuación podía tener cualquier número de raíces, pero pronto se dio cuenta de que una ecuación de tercer grado tenía 3 raíces, una de cuarto, 4 raíces y así sucesivamente. En *L'invention nouvelle*, Albert Girard infiere y enuncia que una ecuación polinómica de grado n tiene n raíces si se cuentan las raíces imposibles (es decir complejas) y tomando en cuenta las repetidas.

³⁷ B. Boyer, *op. cit.*, p. 394.

³⁸ Kline, Morris, *op. cit.*, p. 357.

³⁹ *Ibidem*, p. 358.

⁴⁰ *Ibidem*, p. 359.

⁴¹ Ball, W.W., *op. cit.*, p. 233.

⁴² Kline, Morris, *op. cit.*, p. 361.

Descartes, en el tercer libro de la *Géometrie*, dice que una ecuación puede tener tantas raíces como el número de dimensiones (el grado) de la incógnita.⁴³

Cardano observó que las raíces complejas de una ecuación (con coeficientes reales) se dan por pares. Newton lo demostró en su *Arithmetica Universalis*. Descartes, en la *Géometrie*, enunció la regla de los signos, conocida como “regla de Descartes”.⁴⁴

También se dieron cuenta los matemáticos de estos siglos de las relaciones entre las raíces y los coeficientes de una ecuación, por ejemplo que la suma de las raíces es el coeficiente de x^{n-1} . Esta relación la emplearon tanto Cardano como Vieta para eliminar el término en x^{n-1} en las ecuaciones de tercer y cuarto grado.⁴⁵

Otro resultado importante es el actualmente conocido como “teorema del factor”. En el tercer libro de la *Géometrie*, Descartes enuncia que $f(x)$ es divisible por $x - a$ con a positivo, si y sólo si a es una raíz de $f(x) = 0$, y por $x + a$ si y sólo si a es una raíz falsa.

Newton descubrió la relación entre las raíces y el discriminante de la ecuación, por ejemplo, que $ax^2 + bx + c = 0$ tiene raíces iguales, reales o no reales según que $b^2 - 4ac$ sea igual, mayor o menor que cero.⁴⁶

1.6 La teoría de números

Los intereses prácticos estimularon el progreso del cálculo, el simbolismo y la teoría de ecuaciones; la preocupación por problemas puramente matemáticos condujo a una actividad más nueva en la teoría de números. El que hizo progresos en esta teoría fue Pierre de Fermat (1608-1665). Aquí sólo se mencionan algunos ejemplos del trabajo de Fermat ya que el tema es demasiado rico para ser tratado ampliamente.

Fermat afirmó que ningún número primo de la forma $4n + 3$ puede expresarse como suma de dos cuadrados. Fermat generaliza la conocida relación triangular entre 3, 4 y 5 enunciando los siguientes teoremas: un número primo de la forma $4n + 1$ es la hipotenusa de uno y sólo un triángulo rectángulo de lados enteros. El cuadrado de $(4n + 1)$ es la hipotenusa de dos y sólo dos triángulos rectángulos; su cubo, de tres; su bicuadrado, de cuatro y así sucesivamente. Dos de los teoremas enunciados por Fermat que se conocen como el “pequeño” y el “gran”, siendo éste conocido como el “último teorema de Fermat”. El teorema pequeño afirma que si p es un número primo y a es primo con p , entonces $a^p - a$ es divisible por p . El “gran teorema” de Fermat, que él creía haber probado afirma que para $n > 2$ no hay soluciones enteras de $x^n + y^n = z^n$.⁴⁷

⁴³ *Ibidem*, p. 362.

⁴⁴ *Ibidem*, p. 362.

⁴⁵ *Ibidem*, p. 363.

⁴⁶ *Ibidem*, p. 363.

⁴⁷ Katz, Victor, *op. cit.*, p. 419.

1.7 La creación de las geometrías proyectiva y analítica

La proliferación y amplia difusión de las traducciones de los clásicos griegos de la geometría -Euclides y Apolonio- habría de impulsar la revitalización de esa parte del saber matemático en épocas tardías del Renacimiento. La geometría clásica seguía siendo obligado punto de referencia ya que su estudio estaba incluido en el Cuadrivium; los eminentes traductores de la matemática clásica griega, Maurolico y Comandino (1509-1575) contribuyeron a la amplia difusión de la geometría. El mayor número de ediciones y versiones renacentistas de textos matemáticos de la Grecia clásica corresponde a sus tres máximos representantes: Euclides, Arquímedes y Apolonio. La influencia de Arquímedes entre los científicos renacentistas es visible no como matemático, sino como cultivador del método que servirá de modelo a quienes sientan las bases de la física moderna; la de Apolonio incide en los trabajos eminentemente prácticos de algunos geómetras. Sin embargo es Euclides el matemático clásico más editado, traducido y comentado. Por otro lado los problemas legados por los griegos, la trisección del ángulo, la duplicación del cubo y la cuadratura del círculo seguían interesando a varios matemáticos.

El interés de pintores, arquitectos, y artesanos por los estudios geométricos se manifiesta con plenitud a mediados del siglo XV, de ahí que nuevos tipos de aplicaciones la enriquecen. De un lado, y al amparo de la práctica, la labor de los pintores, arquitectos e ingenieros del Quattrocento y la de los cartógrafos en la época de los grandes descubrimientos; del otro, el desarrollo a través del álgebra forzaba nuevos problemas y daba lugar a aportaciones interesantes. Durante la segunda mitad del siglo XVI, los matemáticos europeos se dedican activamente al cálculo de áreas, volúmenes y centros de gravedad, así como al estudio de las propiedades de las cónicas, de la trigonometría y de otros problemas geométricos.

El alemán Johannes Werner (1468-1528) y sus contribuciones a la geometría pura se encuentran en una obra impresa en Nuremberg en 1522 que consta de veintidós libros, y trata de los elementos de las cónicas. Werner, interesado sobre todo por el problema de la búsqueda de dos medias proporcionales y la duplicación del cubo, concentró sus esfuerzos en el estudio de la parábola y de la hipérbola.⁴⁸

La geometría proyectiva fue inventada por Gérard Désargues (1593-1661), en 1639 formulando las nociones fundamentales de esta rama de la matemática, los cuales fueron escritos en la obra *Brouillon projet d'une atteinte aux événements des recontres du cone avec un plan* la cual es una obra que trata sobre las secciones cónicas, y su enfoque se centra en la perspectiva. Expresa el paralelismo en términos de elementos en el infinito, en el plano y en el espacio. Désargues desarrolla la teoría de las razones armónicas y sabe que la involución es una propiedad proyectiva. Aborda la polaridad a partir del cuadrilátero completo y desarrolla lo esencial de la teoría elemental de polares respecto a una sección cónica.⁴⁹

La idea que surge de la obra de los geómetras proyectivos es la de transformación e invariancia. Proyectar una figura desde un cierto punto y luego obtener una sección de dicha proyección es transformar la figura original en otra nueva.

La geometría clásica fue fusionada con el álgebra en la obra *La géométrie* de René Descartes (1596-1650) originalmente publicada como un apéndice de la obra general *Discours de la Méthode Pour Bien Conduire Sa Raizon Et Chercher La Bérété Dans Les Sciences*, el discurso sobre la razón, en el cual el autor explicó su enfoque racionalista para el estudio de la naturaleza. *La géométrie* es

⁴⁸ Collette, Jean, vol I, *op. cit.*, p. 280.

⁴⁹ *Ibidem*, p. 283.

una aplicación de su método general de unificación, en este caso la unificación del álgebra y la geometría. Los meritos del libro consisten principalmente en la creación de la llamada geometría analítica. Es verdad que esta rama de la matemática con el tiempo se desarrolló bajo la influencia de Descartes, pero en sí *La geometrié* difícilmente puede ser considerada un primer libro de texto sobre el tema. A parte de la aplicación conveniente del álgebra al análisis geométrico de los antiguos y, de acuerdo con esto en un enorme ensanchamiento de su aplicabilidad, se tiene otro mérito que es el rechazo final a las restricciones de homogeneidad de sus predecesores de Descartes, así que x^2 , x^3 , xy eran consideradas como segmentos de líneas⁵⁰. Una ecuación algebraica se convirtió en una relación entre números, un nuevo avance en la abstracción matemática. esto fue entonces utilizado para un mayor desarrollo del álgebra y para el tratamiento general de curvas algebraicas. Mucha de la notación de Descartes es ya moderna, encontrando en su libro expresiones tales como⁵¹:

$$\frac{1}{2}a + \sqrt{\frac{1}{4}aa + bb}$$

La cual difiere de nuestra notación solamente en que Descartes todavía escribía aa por a^2 . *La geometrié* está distribuida en tres partes, siendo la primera donde presenta problemas resolubles solo mediante el uso de la línea y el círculo y contiene los fundamentos del método. La segunda está dedicado a "la naturaleza de las líneas curvas". Así las curvas geométricas como la recta, la circunferencia y las secciones cónicas, son curvas algebraicas, mientras que la cuadratriz y la espiral logarítmica, son curvas mecánicas. Aparece aquí la esencia de la geometría analítica. En la tercera parte de *La geometrié* es un tratado de teoría de ecuaciones algebraicas.

También Fermat (1601-1665) escribió una obra sobre geometría titulada *Ad locos planos et solidos isagoge* que fue publicada en 1679.⁵² En ella se encuentran las ecuaciones de la recta, circunferencia, elipse y la hipérbola. Al mismo tiempo cuando se imprimió la obra de Fermat, hubo otros personajes que hicieron aportaciones sobre la geometría analítica. Todos los autores dudaron en aceptar valores negativos para las coordenadas y el primero en trabajar libremente con ecuaciones algebraicas fue Newton en su estudio de las ecuaciones cúbicas; la primera geometría analítica de secciones cónicas apareció solamente con la *Introductio* (1748) de Euler.

⁵⁰ Dirk, Jan Struik, *Historia concisa de las matemáticas*, IPN, México, 1986, p.142.

⁵¹ *Ibidem*, p.143.

⁵² Collette, Jean, vol II, *op. cit.*, p. 24.

1.8 Nacimiento del concepto de función

El desarrollo de la navegación, y consecuentemente de la astronomía, así como los nuevos desarrollos de la tecnología y la mecánica, necesitaron el estudio de muchos y nuevos problemas matemáticos. La novedad de esos problemas consistía principalmente en el hecho de que exigían el estudio matemático de las leyes del movimiento en el amplio sentido de la palabra.

La ley de movimiento de un cuerpo en una trayectoria dada, por ejemplo a lo largo de una línea recta, está definida por la manera en que aumenta la distancia cubierta por el cuerpo al transcurrir el tiempo. Así por ejemplo, Galileo (1564-1642) descubrió a partir de observaciones experimentales, la ley de la caída libre de los cuerpos, estableciendo que la distancia recorrida en la caída crece proporcionalmente al cuadrado del tiempo transcurrido. Este hecho es descrito por la fórmula:

$$s = 1/2 gt^2 \quad (g = 9.81 \text{ m/seg}^2)$$

Aquí el tiempo es la variable "independiente", y la distancia s es la variable "dependiente"; y al hecho de que a cada tiempo t le corresponda una distancia definida s , es lo que significa el decir que la distancia s es una función del tiempo t . Estas nociones se encuentran en la obra *Dos nuevas ciencias*, de Galileo, el libro en el que fundó la mecánica moderna.⁵³ Galileo expresó sus relaciones funcionales en palabras y en el lenguaje de las proporciones formando frases. Lo que le faltó a Galileo fue poner esas frases en lenguaje simbólico.

Se tiene entonces que a partir de una reflexión sobre las propiedades generales del movimiento y del cambio, surgieron en las matemáticas las nociones de "magnitud variable" y de "función". Sin embargo, éste concepto de función, como la mayoría de los conceptos en las matemáticas, pasó por un largo período de desarrollo. Aún Newton empleó solamente un lenguaje geométrico en su discusión sobre cantidades independientes. Fermat y Descartes, los fundadores de la geometría analítica, al establecer el puente entre la geometría y el álgebra manejan el concepto de función, aunque no la enuncian explícitamente.⁵⁴

La palabra función, y su concepto como correspondencia entre una variable dependiente y otra independiente, se elaboran por primera vez con Leibniz y con un alumno de él, Johan Bernoulli; sin embargo, usan el concepto de función solamente en ejemplos aislados, tales como potencias y funciones trigonométricas.

⁵³ Kline, Morris, *op. cit.*, p. 447.

⁵⁴ *Ibidem*, p. 447.

1.9 Descubrimiento del cálculo diferencial e integral

El descubrimiento del cálculo diferencial e integral fue la culminación del esfuerzo de muchas generaciones de matemáticos tuvieron ideas previas a él. Además había cuatro tipos principales de problemas. El primero era el siguiente: dada la fórmula de la distancia que un cuerpo recorre como función del tiempo, obtener la velocidad y la aceleración en cualquier instante; y al revés, dada la fórmula que describe la aceleración de un cuerpo como función del tiempo, obtener la velocidad y la distancia recorrida. Este problema surgió directamente en el estudio del movimiento, y la dificultad que planteaba era que las velocidades y las aceleraciones que interesaban en el siglo XVII variaban de instante en instante. Al calcular una velocidad instantánea, por ejemplo, no se puede dividir la distancia recorrida por el tiempo empleado, como ocurre en el caso del cálculo de la velocidad media, porque en un instante dado la distancia recorrida como el tiempo empleado son cero, y $0/0$ no tiene sentido. Sin embargo, era claro desde un punto de vista físico que los objetos móviles tienen una velocidad en cada instante de su viaje. El problema inverso de obtener la distancia recorrida, conociendo la fórmula de la velocidad, incluye la dificultad correspondiente; no se puede multiplicar la velocidad en cualquier instante por el tiempo utilizado para obtener el espacio recorrido, porque la velocidad varía de un instante a otro.⁵⁵

El segundo tipo de problemas era obtener la tangente a una curva. El interés por este problema vino de más de una fuente; era un problema de geometría pura y era de importancia para las aplicaciones científicas. La óptica, como se sabe, era uno de los principales objetivos científicos del siglo XVII; el diseño de las lentes era de interés directo para Fermat, Descartes, Huygens y Newton. Para estudiar el paso de la luz a través de una lente, se debe conocer el ángulo bajo el cual el rayo toca la lente, para aplicar la ley de refracción. El ángulo significativo es el que forman el rayo y la normal a la curva, donde la normal es la perpendicular a la tangente (ver fig. 1). Otro problema científico que involucraba la tangente a una curva surgía en el estudio del movimiento de un cuerpo móvil que en cualquier punto de su trayectoria es la dirección de la tangente a la trayectoria.⁵⁶

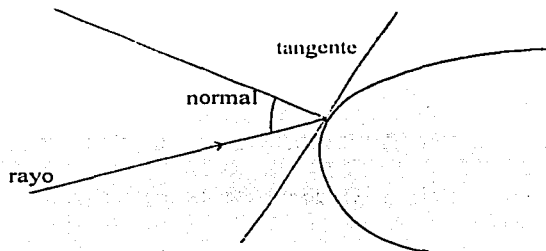


figura 1

En realidad, incluso el mismo significado de “tangente” estaba abierto. Para las secciones cónicas bastaba la definición de tangente como una recta que toca en un sólo punto y que permanece a un lado de la curva; esta definición era ya utilizada por los griegos, pero era inadecuada para las curvas más complicadas que se utilizaban en el siglo XVII.

⁵⁵ *Ibidem*, p. 452.

⁵⁶ *Ibidem*, p. 453.

El tercer problema consistía en obtener el valor máximo o mínimo de una función. Cuando una bala se dispara desde un cañón la distancia que recorrerá horizontalmente -el recorrido- depende del ángulo de inclinación que tiene el cañón con respecto al suelo; un problema "práctico" era obtener el ángulo que haría máximo el recorrido. El estudio del movimiento de los planetas también presentaba problemas de máximos y mínimos, tales como los de obtener la mayor y la menor distancia de un planeta al Sol.⁵⁷

El cuarto problema era el de obtener longitudes de curvas como la distancia recorrida por un planeta en un período de tiempo dado, las áreas acotadas por curvas, los volúmenes acotados por superficies, los centros de gravedad de los cuerpos y la atracción gravitatoria que un cuerpo extenso, un planeta por ejemplo, ejerce sobre otro cuerpo.⁵⁸

Al mismo tiempo que se estudiaban estas cuestiones geométricas: tangentes, rectificaciones, cálculo de áreas y volúmenes, centros de gravedad, etc, las cuales iban proporcionando elementos para los futuros algoritmos del cálculo diferencial e integral, hacían su aparición otros algoritmos infinitos como la utilización de series para aproximar $\pi/4$.

Las consideraciones de índole infinitesimal son tan antiguas como la matemática misma pues residen en la esencia misma de esa ciencia. En la mera sucesión indefinida de los números está enraizado el concepto de infinito, en la ilimitada divisibilidad de los segmentos lo está el de infinitésimo. De ahí que se encuentren rastros de los métodos infinitesimales en todas las etapas de la evolución de la matemática.

A Arquímedes se le considera el precursor de los métodos infinitesimales. Es indudable que la lectura de sus obras por los matemáticos del renacimiento y modernos influyó en el resurgimiento de esos métodos. A las consideraciones de índole infinitesimal se agregará en el siglo XVII la presión externa que ejercerán la mecánica y la astronomía, en cuyo desarrollo los métodos infinitesimales desempeñarán un papel decisivo. Las primeras consideraciones de índole infinitesimal en este siglo son claras reminiscencias de la influencia de Arquímedes aunque ahora al compás de los nuevos tiempos.

El descubrimiento del cálculo diferencial e integral asimila los métodos geométricos de Cavalieri y Barrow, así como los métodos analíticos de Descartes, Fermat y Wallis. Hacía falta también estar en condiciones de comprender la relación de reciprocidad entre el problema de las tangentes y el problema de las áreas, cualquiera que fuera la naturaleza de los problemas específicos. Además había que traducir los problemas de variación, tangentes, máximos y mínimos y sumación a problemas de diferenciación y diferenciación inversa. He aquí lo que hicieron Newton y Leibniz.

La contribución más original de Newton a los métodos infinitesimales es su "método de las fluxiones", que constituyó el tema de un tratado especial de 1671 titulado *Methodus fluxionum et serierum infinitorum*. Newton había visto que su método podía aplicarse al trazado de tangentes a cualquier curva y para resolver cualquier clase de problemas sobre áreas, longitudes, centros de gravedad, además de que había entrelazado dicho método con otro que consiste en trabajar las ecuaciones reduciéndolas a series infinitas.⁵⁹ El método de las fluxiones es de naturaleza geométrico-mecánica pues supone que todas las magnitudes geométricas son engendradas por movimientos de velocidades diferentes, mientras el tiempo fluye constantemente y uniformemente, de ahí que el tiempo, que actúa como telón de fondo, no aparezca explícita, sino implícitamente en

⁵⁷ *Ibidem*, p. 454.

⁵⁸ *Ibidem*, p. 454.

⁵⁹ Pastor, J. Rey, *op. cit.*, p. 83.

las velocidades, en las velocidades de las velocidades etc.⁶⁰ Las magnitudes engendradas son las "fluentes", las velocidades de éstas son las "fluxiones", el incremento del tiempo es designado por una o y el producto de este incremento por la respectiva fluxión, que Newton denomina "momento", sustituye nuestra diferencial. La notación de Newton es \dot{x} y \dot{y} para las fluxiones de x y y . La fluxión de \dot{x} es \ddot{x} , etc.

El primer problema que resuelve Newton con su método es el de determinar la relación entre las fluxiones conociendo la relación entre las fuentes. Si esta relación es entera, por ejemplo $x^3 - ax^2 + axy - y^3 = 0$ el procedimiento es el siguiente:

sustituye $x + \dot{x}o$ e $y + \dot{y}o$ en lugar de x e y respectivamente en la ecuación

$$(x + \dot{x}o)^3 - a(x + \dot{x}o)^2 + a(x + \dot{x}o)(y + \dot{y}o) - (y + \dot{y}o)^3 = 0$$

desarrolla esta ecuación y le resta $x^3 - ax^2 + axy - y^3 = 0$. Después de haber hecho la resta, divide los términos que quedan por o , teniendo:

$$3x^2\dot{x} - 2ax\dot{x} - 3y^2\dot{y} + 3x^2o\dot{x} - ax^2o + axy - 3y^2o\dot{y} + x^3o^2 + axyo - y^3o^2 = 0$$

Se suprimen los términos afectados por el infinitamente pequeño o teniendo como resultado final:

$$3x^2\dot{x} - 2ax\dot{x} + ay\dot{x} + ax\dot{y} - 3y^2\dot{y} = 0$$

Cuando la relación de las fuentes no es entera, Newton introduce variables auxiliares para convertirla en entera.

Tomando en cuenta las objeciones que había provocado la anulación de los incrementos, Newton introdujo en el *Tractatus de quadratura curvarum* (1676) la expresión "razón de los incrementos evanescentes", es decir la razón entre los incrementos correspondientes que, después de evanecer⁶¹ la fluxión, aparecería como resultado de la razón en esas condiciones, asomando así, en forma aún rudimentaria la idea de límite.⁶²

Con su método de las fluxiones Newton resuelve los siguientes problemas geométricos: trazado de tangentes mediante la subtangente, máximos y mínimos anulando la fluxión, determinación de los puntos de inflexión, como máximos o mínimos del coeficiente angular de la tangente y la determinación del centro y el radio de curvatura.

Pasa luego al problema inverso, del cual distingue tres tipos.⁶³

a) Determinar la fuente, dadas dos fluxiones y una sola fuente. Corresponde a nuestras integrales. Este caso es fácil y, en notación moderna corresponde a resolver $dy/dx = f(x)$ que en general Newton resuelve por el desarrollo en serie.

b) Determinar la relación entre las fuentes, dadas dos fluxiones y dos fuentes. Corresponde a un tipo de nuestras ecuaciones diferenciales ordinarias de primer orden, que Newton resuelve por desarrollos en serie utilizando si es necesario, el método de los coeficientes indeterminados.

⁶⁰ *Ibidem*, p. 83.

⁶¹ Evanecer; que se esfuma o desaparece.

⁶² Pastor, J. Rey, *op. cit.*, p. 83.

⁶³ Kline, Morris, *op. cit.*, p. 379.

c) Determinar la relación entre las fluentes, cuando se dan varias fluxiones y fluentes. Corresponde a nuestras ecuaciones con derivadas parciales que Newton resuelve considerando integrales particulares, sin desconocer el hecho de la presencia de funciones arbitrarias.

En cuanto a Leibniz, él también incursionó en el estudio de las series, del cual dedujo por procedimientos originales varias de ellas y describe además, el criterio de convergencia de las series alternadas. Para el desarrollo en serie de la función seno, por ejemplo, se valió del método de los coeficientes indeterminados, partiendo de la ecuación diferencial de segundo orden que define esa función, obtenida geoméricamente.⁶⁴

Las consideraciones infinitesimales de Leibniz, que se encuentran en manuscritos de 1673, parten de la consideración del "triángulo característico". Mediante consideraciones sobre ese triángulo y sus semejantes, el de la ordenada y la subtangente, o el de la ordenada y la subnormal, reconoció que los problemas de la tangente y la cuadratura son inversos. En efecto, ese triángulo muestra que en el problema de la tangente interviene el incremento, es decir la "diferencia" de las ordenadas, mientras que en el problema de la cuadratura interviene la "suma" de las ordenadas, aspecto puramente formal de la cuestión que revela que ambos problemas son inversos.⁶⁵

Leibniz vio la importancia que tiene una buena notación para ayudar a los procesos de pensamiento. Después de varios ensayos decidió representar por dx y dy las diferencias más pequeñas posibles (o diferenciales) de la x y de la y . Por otro lado, al principio escribía simplemente $omn.$ y para representar la suma de las ordenadas bajo la curva, pero más tarde escribió el símbolo $\int y dx$. Con la operación simbolizada así aumentaba en uno el número de las dimensiones; supuso que la operación inversa (la diferencial, que simbolizó con la letra d) debía disminuir a toda expresión también en una unidad.⁶⁶

La explicación de Leibniz respecto a las fundamentaciones del cálculo sufrió de la misma vaguedad que la de Newton. Algunas veces sus dx , dy representaban cantidades finitas, algunas veces cantidades menores que cualquier cantidad fijada sin ser cero.⁶⁷

Aunque desde 1676 está en posesión de las reglas y fórmulas más simples del cálculo diferencial las expone en una publicación de 1684 titulada *Nova methodus pro maximis et minimis itemque tangentibus, qua ne fractas nec irrationales quantitates moratur*. En ella aparecen definidas las diferenciales de la suma, diferencia, producto y cociente de dos funciones como en la forma actual. Aparecen las reglas comunes de diferenciación de las expresiones racionales e irracionales. Aplica la diferenciación a problemas de máximos y mínimos, obtiene tangentes y puntos de inflexión.⁶⁸

En 1686 aparece en *Acta Eruditorum*, una exposición del cálculo integral en la que se muestra que las áreas son un caso especial del método inverso al de las tangentes. Aquí hacía hincapié Leibniz en la relación inversa que hay entre diferenciación e integración en el teorema fundamental del cálculo y aparece también impreso por primera vez el signo de integral. Esos escritos muestran, por ejemplo, como con ese signo pueden definirse, mediante expresiones algebraicas, curvas que no lo son como la cicloide.⁶⁹

⁶⁴ Pastor, J. Rey, *op. cit.*, p. 84.

⁶⁵ *Ibidem*, p. 84.

⁶⁶ Kline, Morris, *op. cit.*, p. 493.

⁶⁷ Dirk, Jan Struik, *op. cit.*, p. 162.

⁶⁸ B. Boyer, *op. cit.*, p. 507.

⁶⁹ *Ibidem*, p. 507.

En 1695 da la diferenciación de funciones de la forma uv mediante el uso de los logaritmos, tal como se hace actualmente. Del mismo año es el teorema que lleva su nombre, acerca de la regla para las diferenciales sucesivas de un producto de funciones, sin más que cambiar en la fórmula del binomio los exponentes por órdenes de diferenciación.⁷⁰

Las aportaciones de los astrónomos del siglo XVII fueron posibles debido a las nuevas matemáticas que florecieron en el Renacimiento. Como ya se vio, Vieta dio el paso decisivo de hacer simbólico todo argumento matemático, utilizando letras para representar tanto las cantidades conocidas como las desconocidas en el álgebra. Este ingenioso recurso técnico aumentó enormemente la rapidez de los cálculos y evitó la confusión que inducen las palabras. Gracias a los trabajos de Vieta, junto con los de Cardano, y los de Tartaglia, que fueron la transición de lo particular a lo general, se pudieron emplear métodos algebraicos para tratar cualquier problema, con tal de que las cantidades implicadas puedan ser reducidas a números. Así los matemáticos del siglo vieron la posibilidad de utilizar el álgebra para tratar la igualdad y la proporción de magnitudes, sin importar si tales magnitudes surgían de problemas geométricos, físicos o comerciales. Esto se ve cuando Descartes escribe a^2 para representar tanto una longitud como un área.

Descartes no considera al álgebra como una ciencia en el sentido de proporcionar conocimiento sobre el mundo físico. Ciertamente, afirma, tal conocimiento consta de geometría y mecánica. Ve en el álgebra un poderoso método de guía del razonamiento con cantidades desconocidas y abstractas, sobre todo. En su visión, el álgebra mecaniza la matemática de forma que el pensamiento y los procesos se simplifican y no requieren gran esfuerzo de la mente.⁷¹ Newton necesitó y utilizó el lenguaje algebraico para el desarrollo del cálculo, cuya manipulación óptima era la algebraica. Así, el álgebra se impuso sobre las limitaciones del pensamiento geométrico.

Por otro lado Stevin, al adicionarle a los números indoarábicos la representación decimal, las cantidades estuvieron mejor representadas y al aparecer los logaritmos se abreviaron en gran medida las operaciones en los cálculos en astronomía y en la nascente ciencia de la mecánica. Descartes expresó que cualquier rama de la ciencia puede ser configurada sobre el modelo de las matemáticas⁷². Esto implica dos pasos esenciales. Las matemáticas comienzan con axiomas - verdades claras y autoevidentes- y a partir de ellos se pasa a establecer nuevas verdades mediante razonamientos deductivos. Cualquier rama de la ciencia, debe comenzar con axiomas o principios y continuar deductivamente. Además se debe extraer de los axiomas tantas consecuencias como sea posible.

La matemática al dotar a la nueva ciencia de instrumental matemático, se empezó a concebir a toda la naturaleza como un todo regido por ecuaciones matemáticas. De esta manera, los nacientes científicos modernos emplearían a las matemáticas para todos los estudios referentes a la astronomía y mecánica y posteriormente a las demás ciencias. Con el descubrimiento del cálculo diferencial e integral por Newton y Leibniz, se resolvieron los problemas en los que tenía que determinarse un valor en un momento dado. La matemática avanzaría en el grado de abstracción, y el progreso notable hacia la generalización. Los matemáticos buscarán partir de un mínimo de hipótesis buscar las soluciones de un problema particular como ejemplo de una teoría general unificada con respecto a algún concepto o a algún método de aplicación universal.

⁷⁰ *Ibidem*, p. 508.

⁷¹ Kline, Morris, *op. cit.*, p. 374.

⁷² *Ibidem*, p. 374.

1.10 Los métodos matemáticos aplicados a cuestiones prácticas

A medida que avanzaba el siglo XVII, el experimento y el empleo de las matemáticas se unieron tan estrechamente, que empezó el perfeccionamiento de instrumentos de medida más precisos. Las ciencias físicas necesitaban de instrumentos que les permitiesen hacer experimentos más precisos a la vez que los científicos se interesaron más en lograr una medida más exacta del tiempo y del espacio. Los relojes eran frecuentes en las ciudades de Europa: aunque imperfectos, eran indispensables.

La medición más exacta del tiempo fue acompañada de una medición más exacta del espacio, lo que revelaría las gigantescas dimensiones del universo, así como de cosas infinitamente pequeñas. El reloj fue uno de los instrumentos que Galileo contribuyó a perfeccionar. El primer reloj fue movido por un sistema de pesos y luego ese sistema fue sustituido por otro equipado con péndulo como mecanismo regulador; quien introdujo mejoras en el mecanismo de reloj de péndulo fue Cristian Huygens, que además lo condujo al estudio de las evolutas de una curva plana.⁷³

Las contribuciones de los hombres del siglo XVI a la geometría se hacen notar en sus nuevos objetivos en la pintura. En el período medieval la glorificación de Dios y la ilustración de los temas bíblicos eran los fines de la pintura. Además, se pretendía que las figuras fueran simbólicas más que realistas. Los pintores producían formas planas y sin naturalidad. Pero en el Renacimiento, la descripción del mundo real se convirtió en el objetivo de la pintura por lo tanto, los artistas emprendieron el estudio de la naturaleza para reproducirla fielmente en sus lienzos por lo que se enfrentaron al problema matemático de representar el mundo real tridimensional en un lienzo bidimensional. De esta manera surgió el estudio de la perspectiva. Así la teoría de la perspectiva se difundió en las escuelas de pintura.⁷⁴

Dos ideas geométricas aparecen en trabajos menores de Albrecht Dürer (Alberto Durero) (1471-1528). La primera de ellas es la de considerar curvas en el espacio. Comienza estudiando curvas del espacio helicoidales y considera la proyección de esas curvas en el plano. Las proyecciones son varios tipos de espirales, y Durero muestra como construirlas. También muestra la epicloide, que es el lugar geométrico descrito por un punto determinado de una circunferencia que gira apoyándose en el exterior de otra circunferencia fija. La segunda idea es la proyección ortogonal de curvas y de figuras humanas en dos y tres planos mutuamente perpendiculares. El principal valor de estos trabajos fue el de difundir algunos conocimientos de geometría.⁷⁵

Los contemporáneos de Durero que se dedicaron a la matemática pura no llegaron a apreciar el futuro de las transformaciones geométricas, pero quienes sí les era esencial el uso de proyecciones de diversos tipos era a los cartógrafos. La cartografía, en la medida en la que las exigencias de la navegación y de los viajes condujeran a mejoras en los siglos XVI y XVII, desarrolló la actividad geométrica de las proyecciones en el método de trazado de mapas, que además sirvió para estimular posteriores investigaciones geométricas. Las exploraciones geográficas habían revelado que tan inadecuados eran los mapas existentes, al mismo tiempo que se iban acumulando nuevos conocimientos geográficos. El hacer e imprimir mapas había comenzado en la segunda mitad del siglo XV en centros como Amberes y Amsterdam.⁷⁶

⁷³ Crombie, A. C. , *Historia de las ciencias: de San Agustín a Galileo*, Ed. Alianza, Madrid, 1974, p. 218.

⁷⁴ Kline, Morris, *op. cit.*, p. 312.

⁷⁵ *Ibidem*, p. 313.

⁷⁶ Crombie, A. C. *op. cit.*, p. 219.

Durante la elaboración de mapas surge el problema de la esfera que no puede cortarse, abrirse y extenderse sobre un plano sin distorsionar las distancias. Además las direcciones (ángulos) o áreas, o ambos pueden distorsionarse también. El nuevo método más significativo en la construcción de mapas se debe a Gerard Kremer, conocido también como Mercator (1512-1594). En 1569 publicó un mapa utilizando la proyección que lleva su nombre. En este esquema las líneas de longitud y latitud son rectas.⁷⁷

El mapa de Mercator tiene algunas ventajas. Sólo en esta proyección dos puntos del mapa están en el rumbo correcto de la brújula uno con respecto al otro. Por tanto una curva sobre la esfera cuyo rumbo es la brújula constante, esto es, una curva llamada loxodroma o línea de rumbo, que corta a todos los meridianos según un mismo ángulo, se convierte en una línea recta en el mapa. Las distancias y las áreas no se conservan; de hecho, el mapa distorsiona mucho los polos. Sin embargo, como la dirección se conserva, también se conserva el ángulo de dos direcciones en un punto, y se dice que el mapa es conforme.

Aunque ninguna idea matemática grande surgió de los trabajos de elaboración de mapas en el siglo XVI, el problema se volvió a considerar más tarde por otros matemáticos, y eso les llevó a trabajar en la geometría diferencial en los siglos posteriores.

Para la cartografía terrestre eran esenciales métodos de agrimensura precisos y estos fueron perfeccionados en los siglos XVI y XVII.

También aparecieron los primeros instrumentos para medir la temperatura y la presión atmosférica, se construyeron instrumentos diseñados para las observaciones más precisas de los cuales los más importantes fueron el telescopio y el microscopio compuesto. La propagación de la luz era explicada todavía por la mayor parte de los ópticos del siglo XVII en términos de la teoría de la "especie" que relacionaban con sus conocimientos de la óptica geométrica.⁷⁸

Así al empezar a sustituir la combinación lentes cóncavas y convexas, por la combinación de lentes convexas diferentes se empezaron a elaborar reglas para determinar las distancias focales y las aberturas. La ley de la refracción, fue descubierta en 1610 por Huygens e independientemente por Descartes.⁷⁹

Los trabajos del siglo XVII y los de Hooke, Huygens, y otros sobre la luz permitieron que se construyeran microscopios y telescopios útiles, aunque adolecían del efecto de la aberración cromática. Huygens, combinando una mejor comprensión de la distancia focal y la aberración óptica con la práctica escrupulosa de pulir mejor las lentes a utilizar; hacia 1655 había producido un telescopio más eficaz. Este aparato fue perfeccionado durante los diez años siguientes, al incluirle un micrómetro que medía la distancia y los diámetros tal como aparecían en el foco del objetivo, y un goniómetro⁸⁰ que medía el ángulo en que el telescopio era aplicado a un objeto determinado, y todo ello en porciones de tiempo registradas por el nuevo reloj de péndulo

Un interés de los científicos por las cuestiones técnicas que los llevó a hacer contribuciones a problemas fundamentales, fue el intento de calcular el ángulo con que debe ser disparado un cañón para conseguir el máximo alcance.

⁷⁷ B. Boyer, *op. cit.*, p. 381.

⁷⁸ Crombie, A. C. *op. cit.*, p. 225.

⁷⁹ *Ibidem*, p. 226.

⁸⁰ El goniómetro es el instrumento para medir ángulos.

1.11 La forma de pensamiento en Europa

Antes, durante y después del Renacimiento han existido diferentes formas de pensar acerca de la naturaleza y los fenómenos que la aquejan. Estas diversas tendencias de pensamiento son la forma propia del pensamiento científico que prevaleció durante la época en que se desarrollaba la ciencia. Unas quizás no tengan nada de científico y otras se aproximan casi a lo que hoy consideramos ciencia. Todas merecen ser estudiadas, ya que impulsaron los descubrimientos científicos que trastocaron el curso de la humanidad. Para ser breves se mencionaran tres "tradiciones científicas" que de alguna forma coexistieron yuxtaponiéndose. El ritmo histórico de dichas tradiciones científicas no fue privativo de Europa, sino que de una u otra manera afectó a todos los lugares, que presenciaron el nacimiento de la ciencia moderna. Lo único que distingue a unas regiones de otras es el desfase cronológico en lo referente al grado de rechazo o aceptación de una determinada teoría innovadora adscrita a una de las tradiciones científicas prevalecientes.

El pensamiento en Europa antes del Renacimiento era de reflexión teocéntrica, esto es, todo se basa en la voluntad de Dios. Toda la realidad tiene un mensaje que comunicar. La naturaleza y la vida social son interpretados como símbolos de la presencia de Dios y concibe al hombre en función de la fe, la salvación y su relación con la divinidad. Lo anterior marca una de las tradiciones científicas que se exhibe y ésta es la tradición organicista. Esta tradición abunda en conceptos metafísicos derivados de las concepciones aristotélicas acerca de la naturaleza del universo. Términos tales como sustancia, accidente, materia, forma, esencia y existencia aparecen en las descripciones del mundo físico. Se consideraba que la argumentación formal (*disputatio*) era el instrumento adecuado para el estudio de la física apoyada en Aristóteles y en sus comentaristas escolásticos. La tradición organicista gozó de mucho arraigo durante la Baja Edad Media y los siglos XV y XVI, época en que ésta empieza a declinar. Era sustentada, aparte de la autoridad de Aristóteles, también por Galeno y Ptolomeo, y sus principales hipótesis sobre el cosmos físico estaban incorporadas a la teología cristiana.⁸¹

Al estallar el movimiento renacentista entra en contraposición al sentido totalmente religioso de la vida, el hombre renacentista trata de revelarse a sí mismo, el hombre, como objeto de investigación en el que se encuentra la solución al problema humano y a sus diferentes aspectos. Los hombres del renacimiento son pensadores de transición, pensadores de tiempos críticos.⁸² Es precisamente esta crisis la que favorece al Renacimiento, ya que durante los siglos XV y XVI se empieza a generar una serie de acontecimientos históricos que afectaron la estructura medieval, siendo uno de ellos el movimiento de reforma que se dio para renovar a la religión, y que de alguna manera hizo que los renacentistas fueran apartándose del sistema religioso y empezar a desconfiar de él. Esta crisis será el paso de la creencia a la conciencia.

Los hombres del Renacimiento tuvieron la característica de ser humanistas. El ser humanista significó la preocupación de los movimientos intelectuales del renacimiento por reencontrar y explicar al hombre, además se empezó a renovar el estudio de las lenguas y literaturas antiguas en especial la griega, ya que se tomaron como representantes de un pensamiento humano libre del contacto del cristianismo.⁸³ A grandes rasgos diremos que la tradición organicista se remonta a Aristóteles y a su escuela, la hermética a Hermes Trimegisto, a Platón y a Pitágoras y la mecanicista

⁸¹ Trabulse, Elías, *Historia de la ciencia en México*, vol I, CONACYT-FCE, México, 1984, p. 22.

⁸² Barreiro Güemes, Juan José, *Historia de las ideas*, vol II, UPN, México, 1979, p.84.

⁸³ *Ibidem*, p. 83.

a Arquímedes y a la escuela de físicos helenísticos de los siglos III y II a. C. Como en tantos otros campos de la cultura, al recurrir a ellas los hombres del Renacimiento no hicieron sino volver la mirada hacia atrás, a esas tres escuelas de pensamiento científico.⁸⁴ Aunque la teología medieval conoció a Aristóteles y a Platón, solo fueron utilizados como instrumentos para estructurar racionalmente las verdades de la fe.

Lo primero que se revaloriza es la experiencia directa frente a las cosas. Esta preocupación por la experiencia quedará como uno de los importantes patrimonios del pensamiento posterior, en especial, del pensamiento científico. En los albores del Renacimiento se recuperaron las obras de Demócrito y su teoría atomista y la física y matemática de Arquímedes.

En los trabajos de Platón, los europeos aprendieron que la naturaleza está diseñada matemáticamente y que este diseño es armonioso, estéticamente agradable y la última verdad. La naturaleza es racional, simple y ordenada y actúa según leyes inmutables. Las obras platónicas y pitagóricas realizaban el número como la esencia de la realidad, doctrina que ya había recibido alguna atención de los escolásticos desviacionistas de los siglos XII y XIV. El renacimiento del platonismo clarificó y cristalizó las ideas y métodos con los que estos hombres habían estado luchando. El énfasis pitagórico-platónico sobre las relaciones cuantitativas como la esencia de la realidad se hizo dominante en forma gradual. Copérnico, Kepler, Galileo, Descartes, Huygens y Newton eran, en este aspecto, pitagóricos y, mediante su trabajo, establecieron el principio de que el objeto de la actividad científica debe ser la obtención de leyes matemáticas cuantitativas.

Los hombres del Renacimiento son autores sincretistas,⁸⁵ engarzan unas ideas junto a otras, aunque muchas veces sean contrarias dando una apariencia coherente, pero sin llegar a un auténtico sistema; por ejemplo, la mezcla de pensamientos y creencias astrológicas con las ideas de la ciencia astronómica así como con pensamientos de las nuevas ideas físicas y matemáticas que empezaban a florecer. Aquí es donde aparece la segunda tradición científica, llamada por algunos autores hermética o mágica. En esta tradición priva el lenguaje esotérico propio de la alquimia, la astrología y la ciencia de los números. En ella se percibe una tentativa de ordenamiento de la pluralidad de la naturaleza haciendo caso omiso del lenguaje metafísico propio de la tradición organicista.⁸⁶

Para el científico o filósofo hermético el cosmos era una obra de arte preñada de misterios que sólo al iniciado correspondía descubrir. En esta labor había que buscar los enlaces ocultos, las tramas invisibles de los fenómenos, las relaciones numéricas y matemáticas que explicaban la armonía del cosmos, ya que los secretos del universo habían sido escritos por Dios en lenguaje matemático y místico. Los matemáticos y científicos recibieron alguna inspiración de los prejuicios teológicos de la Edad Media, que habían inculcado la visión de que todos los fenómenos de la naturaleza están, no sólo interconectados, sino que se producen de acuerdo a un plan global: todas las acciones de la naturaleza siguen el plan establecido por una única causa primera. La conciliación de la visión teológica del universo de Dios con la búsqueda de leyes matemáticas de la naturaleza, dio como resultado una nueva doctrina, según la cual Dios había creado el universo matemáticamente. Esta doctrina inspiró el trabajo de los matemáticos de los siglos XVI y XVII e incluso algunos del XVIII. El conocimiento matemático, como es en sí mismo la verdad acerca del universo, es tan sacrosanto como cualquier línea de las Escrituras, e incluso superior, porque es un conocimiento claro e indiscutible.⁸⁷

⁸⁴ Trabulse, Elías, (1984), *op. cit.*, p. 22.

⁸⁵ Barreiro Güemes, *op. cit.*, p. 87.

⁸⁶ Trabulse, Elías, (1984), *op. cit.*, p. 23.

⁸⁷ Kline, Morris, *op. cit.*, p. 295.

Toda esta concepción del mundo físico tuvo consecuencias en el campo de las ciencias. Figuras como Copérnico, Tycho Brahe y Kepler, en astronomía; Paracelso, Glauber y Van Helmont, en química y medicina; y Gilbert en física, son algunos nombres que se sintieron atraídos por esta corriente, la cual a simple vista, parecía ser la menos racional y lógica, pero que a la luz de sus contribuciones a la revolución científica del siglo XVII, bien pudiera tener un buen lugar entre las corrientes científicas.⁸⁸ Aún quedaría por evaluar lo que podíamos denominar corriente hermetico-mecanicista, la cual ha aparecido en algunos trabajos científicos del siglo XVII.

Dos acontecimientos transformaron la imagen que el hombre tenía del mundo: los viajes marítimos que, poco a poco, fueron ampliando la geografía del planeta y dejando constancia de su redondez y de los diferentes continentes que lo forman; por otro lado, el universo de las esferas de Aristóteles, representado por la teoría geocéntrica de Ptolomeo, se derrumbó a causa de la reflexión de Copérnico acerca del heliocentrismo, siendo en esta obra en donde se hizo patente el proceso de renovación científica.⁸⁹

Al igual que Copérnico lograra la matematización del universo, Galileo logró formular una descripción matemática del movimiento de los cuerpos. Es más, llegó a pensar que la naturaleza estaba diseñada matemáticamente. Teniendo esto en mente, Galileo rompió radicalmente con lo especulativo y lo místico en favor de una visión de la naturaleza mecánica y matemática.

Una doctrina, el atomismo del griego Demócrito, es clara en Galileo. El atomismo suponía un espacio vacío y átomos indestructibles e individuales. El cambio consistía en la combinación y separación de los átomos. Todas las variedades cualitativas de los cuerpos eran debidas a la variedad cuantitativa en el número, tamaño, forma y disposición especial de los átomos. Las principales propiedades de los átomos eran la impenetrabilidad y la indestructibilidad; estas propiedades servían para explicar los fenómenos físicos y químicos.⁹⁰

El atomismo condujo a Galileo a la doctrina de las cualidades primarias y secundarias; con ella Galileo separaba la forma, cantidad, movimiento, etc, de los olores, sabores, sonidos, etc, para así concentrarse en la materia y el movimiento, propiedades que pueden ser descritas matemáticamente. Galileo propuso el empleo de los experimentos para comprobar las conclusiones de sus razonamientos así como para obtener principios básicos.⁹¹ El contemporáneo de Galileo, Bacon había llegado a la conclusión de que la experimentación era necesaria. Así procedió a poner en cuestión todas las concepciones aceptadas, sometiéndolas a prueba por medio de un nuevo método: el método experimental.

Otros dos hombres que influyeron en el cambio de pensamiento fueron Descartes y Bacon. Ellos son los hombres que se encuentran colocados en el punto de inflexión entre la ciencia medieval y la ciencia moderna, que fueron divulgadores y que tuvieron la visión de las posibilidades del conocimiento y que se ocuparon de mostrarla al mundo. Los dos tuvieron una perspectiva universal, aunque su concepción del conocimiento haya sido muy distinta. Bacon abordó el aspecto esencialmente práctico del nuevo movimiento, sus aplicaciones al mejoramiento de las artes y su utilidad para lograr una apreciación del mundo que nos rodea. Estos pensadores se preocuparon del método, aunque sus ideas acerca del método científico fueron muy diferentes; Bacon consideró que el método consiste en recolectar materiales, efectuar experimentos en gran escala y encontrar los resultados partiendo de una gran masa de evidencias, en otras palabras concibió el método inductivo.

⁸⁸ Trabulse, Elías, (1984), *op. cit.*, p. 23.

⁸⁹ Barreiro Güemes, *op. cit.*, p. 209.

⁹⁰ Kline, Morris, *op. cit.*, p. 435.

⁹¹ Bernal, John, D, *op. cit.*, p. 412.

En cambio Descartes se pronunció por la certera estocada de la intuición pura, considerando que al lograr la claridad del pensamiento se tenía la posibilidad de descubrir todo lo que fuera racionalmente cognoscible de modo que el experimento viene a ser un auxiliar del pensamiento deductivo.⁹²

La obra de Descartes dio un impulso a la filosofía y al pensamiento científico. Al justificar las reglas de la actividad racional, se consideró fundado el pensamiento científico y continuó buscándose, con mayor seguridad, la matematización de la naturaleza. Descartes explicó con detalles que el mundo debe ser accesible y reducible a las matemáticas. Insistió en que las propiedades más fundamentales y fiables de la materia son forma, extensión y movimiento en el espacio y en el tiempo.⁹³ El movimiento en sí mismo se producía por la acción de las fuerzas sobre las moléculas. Descartes estaba convencido de que estas fuerzas obedecían a leyes matemáticas invariables y, puesto que la extensión y el movimiento eran expresables matemáticamente, todos los fenómenos podían ser descritos matemáticamente.

La filosofía mecanicista de Descartes se extendía incluso al funcionamiento del cuerpo humano. Creía que las leyes de la mecánica explicarían la vida del hombre y de los animales, y en sus trabajos en fisiología utilizó el calor, la hidráulica, tubos, válvulas y las acciones mecánicas de las palancas para explicar las acciones del cuerpo. Sin embargo Dios y el alma estaban exentos de mecanismos. Para Descartes existen dos mundos: el primero, una enorme máquina matemática armoniosamente diseñada, que existe en el espacio y en el tiempo, y el segundo, el mundo de los espíritus pensantes. El efecto de los elementos del primer mundo en el segundo produce las cualidades no matemáticas o secundarias de la materia.⁹⁴

Al reducir los fenómenos naturales a acontecimientos puramente físicos y la búsqueda de leyes que explicaran la regularidad y recurrencia de los fenómenos del mundo físico fue siempre la nota prevaleciente en las obras e investigaciones de Descartes y los científicos mecanicistas, sobre todo a partir del siglo XVII, hicieron lo suficiente por desembarazar a la ciencia del misticismo y de las fuerzas ocultas.⁹⁵ La posibilidad de captar matemáticamente el carácter inmutable y regular de la naturaleza, permitía prever los fenómenos ya que éstos quedan sujetos a leyes invariables. El modelo mecánico del cosmos se impuso a todas las ramas de la ciencia. Sus explicaciones que se oponían a los conceptos organicistas y en buena medida también a los herméticos, se abrieron camino lentamente en las mentes de los científicos. Sus demostraciones eran claras y matemáticamente impecables e inteligibles. El mecanicismo ya anunciado por Galileo pasaría en las mentes de Mersenne, Descartes y Newton (cabe hacer notar que a veces en las obras de estos hombres apuntan destellos herméticos que resultan interesantes) prevalecería a lo largo del siglo XVII y que alcanzaría su difusión más alta en el siglo XVIII. Se abandonaría por completo a la fe como medio para explicar las cosas.

Lo anterior fue una síntesis muy general de la evolución del pensamiento, desde el Renacimiento hasta el siglo XVII. Es obvio que faltan más personajes y hechos que de algún modo influyeron para este progreso.

⁹² *Ibidem*, p. 421.

⁹³ Kline, Morris, *op. cit.*, p. 431.

⁹⁴ Bernal, John, D, *op. cit.*, p. 425.

⁹⁵ Barreiro Güemes, *op. cit.*, p. 267.

1.12 La Astronomía en el siglo XVII en Europa

Antes y después de la publicación del libro de Copérnico titulado *Comentariolus*, el sistema del mundo seguía siendo visto como lo había planteado Ptolomeo, y todos los fenómenos físicos vistos tanto en el cielo como en la tierra seguían siendo explicados con base en la física de Aristóteles y siempre aunado a la religión. El proceso de desmitificación del cielo y de todos los fenómenos físicos que ocurrían en él se realizaría gradualmente por un lado al *Comentariolus* y al movimiento racionalista que estaba naciendo y, por otro, a la observación y medición de los cielos realizados por medio de instrumentos que permitieron a los hombres del siglo XVI en adelante observar el firmamento y ver que los astros eran igual que la Tierra y que no guardaban nada de divino, estático e inmutable. Un ejemplo de ello fue la aparición de una estrella en 1572 y que permanecería en 1573 hasta desaparecer en 1574. Si se trataba de una estrella, esto contradecía la idea antigua de que los sublimes cielos no conocían cambios, ni nuevas generaciones, ni descomposición.⁹⁶ Este tipo de hechos innegables obligarían después, a rectificar a los hombres sus ideas. Otro tipo de creencia que estuvo ligada a la teoría de Aristóteles era la que se creía que los cometas eran exhalaciones de la Tierra que se inflamaban en la esfera del fuego en el espacio sublunar.

El influjo de la astrología medieval, influyó en algunos aspectos en las obras de algunos de los científicos del siglo XVI y del siglo siguiente. Los términos de cosmografía y astrología designan actividades inseparables de la práctica aunque en abstracto puedan distinguirse dos vertientes: los conocimientos teóricos sobre los astros y el universo en general, y la aplicación de dichos conocimientos al pronóstico de sucesos.⁹⁷ Esto tuvo importancia ya que influyó de cierta manera en el avance de la astronomía. Tycho Brahe y Kepler practicaron alguna vez la astrología; el primero toma en cuenta en sus pronósticos no solo los planetas, sino también las estrellas que influyen en el mundo sublunar, mientras que el segundo en su primer pronóstico afirmó aseveraciones que después serían ciertas y todo ello por la observación del comportamiento de los astros. Galileo también estuvo influenciado por la astrología, pero dejó de creer en ella al pronosticarle larga vida a su protector el gran duque de Toscana, quién murió pocas semanas después.⁹⁸ Este trasfondo astrológico fue el origen de una serie de ideas, no siempre acertadas, que influyeron decisivamente en el avance de la astronomía, ya que para saber con exactitud la conjunción y posición de ciertas estrellas y astros que tuvieron una posición parecida en el pasado y en dicho pasado acontecieron sucesos relevantes, los astrónomos echaron mano del material matemático e instrumental de que se disponía para saber cuando, nuevamente, astros y estrellas volverían a las mismas posiciones y así pronosticar sucesos que posiblemente ocurrieran.

Las aplicaciones de tipo astrológico, así como las correspondientes al arte de navegar, la confección de tablas astronómicas y la reforma del calendario, mantuvieron la práctica de las observaciones y el interés por perfeccionar los instrumentos.

A finales del siglo XVI se puede apreciar el proceso de transición que se estaba produciendo en torno al modo de pensar acerca de la cosmología existente. Varias opiniones empezaron a florecer en torno a una nueva apreciación de la astronomía. Fue así como empezaron a darse los nuevos conceptos en torno a una nueva ciencia astronómica.

⁹⁶ Crombie, A. C., *op. cit.*, p. 162.

⁹⁷ Venet, Juan, *Astrología y astronomía en el Renacimiento*, Ed. Ariel, Madrid, 1974, p. 27.

⁹⁸ *Ibidem*, p. 29.

Fueron varios los astrónomos que aportaron alguna contribución a la astronomía. Aquí se nombrarán algunos de los astrónomos y sus trabajos. Nicolás Copérnico (1473-1543) vislumbró un nuevo sistema del mundo colocando al sol en el centro del universo, atribuyendo tres movimientos a la Tierra, un giro diario sobre su eje, una órbita anual en torno al sol y un giro del eje de rotación de la Tierra a fin de explicar la precesión de los equinoccios.⁹⁹ Copérnico escribió un opúsculo titulado *Commentariolus* en el que daba cuenta de su teoría, la cual alcanzó difusión entre la gente que le conocía. Posteriormente publicó su obra principal, *De revolutionibus orbium celestium*, en la cual pone al sol en el centro del universo y explica los movimientos planetarios alrededor de él con más detalle. Copérnico le dio sencillez al sistema planetario al quitarle el exceso de círculos que le había impuesto Ptolomeo para explicar lo que se observaba en el cielo salvando así las apariencias. Así, de los aproximadamente ochenta círculos que explicaban los movimientos celestes, se redujeron a treinta y cuatro.¹⁰⁰ La Tierra al igual que los planetas gira alrededor del sol y posee los mismos movimientos circulares y uniformes que los otros cuerpos celestes, movimientos que habían sido exclusivos de las cosas perfectas e incorruptibles según los viejos esquemas.

El sistema copernicano era más simple y elegante que el sistema ptolemaico. En el sistema antiguo, los cuerpos celestes tenían movimientos de Este a Oeste y rotaciones en la dirección opuesta. Ahora la Tierra y todos los planetas se movían en torno al Sol en la misma dirección con velocidades que decrecían con la distancia al Sol, hallándose el Sol y la esfera celeste, límite del universo finito, en reposo.¹⁰¹ Además procedió a añadir los habituales excéntricos, deferentes y epiciclos para explicar los movimientos observados de la Luna, el Sol y los planetas por medio de un movimiento circular uniforme perfecto. Copérnico había producido un sistema el cual teórica y cualitativamente era verdaderamente más sencillo porque podía dar una explicación unificada de un número de diferentes rasgos del movimiento planetario que en el sistema de Ptolomeo eran arbitrarios y sin conexión. Podía explicar las retrogradaciones y las estaciones de los planetas como meras apariencias debidas a un único movimiento de la tierra y podía dar una explicación sencilla de varios movimientos peculiares de los planetas individuales.¹⁰²

El sistema de Copérnico, a pesar de presentar valores y concepciones nuevas, tenía un cierto grado de complejidad. Copérnico fue fiel al ideal griego según el cual los movimientos de los cuerpos celestes habían de ser circulares y uniformes, de modo que aunque su sistema fuese más simple que el defendido por Ptolomeo, resulta complicado con respecto al sistema posteriormente elaborado por Johannes Kepler (1571-1650). Pero entre el sistema de ellos dos está el de Tycho Brahe (1546-1601), quien suministró las observaciones sobre las cuales basar una descripción geométrica precisa de los movimientos celestes, se vio obligado por dificultades, tanto físicas como bíblicas, a rechazar la rotación de la tierra. Elaboró un sistema propio, en el que la Luna, el Sol y las estrellas fijas giraban alrededor de la Tierra estática, mientras que los cinco planetas giraban alrededor del Sol.

Kepler por su parte tenía la visión de la armonía abstracta según la cual creía que el mundo estaba construido. A lo largo de su vida estuvo inspirado por la búsqueda de una ley matemática sencilla que pudiera enlazar juntos la distribución espacial de las órbitas y los movimientos de los miembros del sistema solar. En su obra *Mysterium cosmographicus*, Kepler plantea la idea de que los espacios entre las órbitas planetarias correspondían a cada uno, de Saturno a Mercurio, a uno de

⁹⁹ Stephen, F. Mason, *Historia de las ciencias*, vol. II Ed. Alianza, Madrid, 1985, p. 9.

¹⁰⁰ *Ibidem*, p. 12.

¹⁰¹ *Ibidem*, p. 12.

¹⁰² Crombie, A. C. *op. cit.*, p. 161.

los cinco sólidos regulares o cuerpos platónicos. Intentó mostrar que los cinco sólidos regulares podían ser adaptados a las seis órbitas de forma que cada órbita estuviera inscrita en el mismo sólido sobre el que estaba circunscrita la órbita exterior siguiente. Para ello trató de utilizar los datos de Tycho para confirmar su teoría que posteriormente abandonó. Sin embargo consiguió percibir en los datos de Tycho los fundamentos de la armonía celeste. Habiendo calculado la órbita de Marte según cada una de las tres teorías vigentes, la tolemaica, la copernicana y la de Tycho, Kepler vio que el sistema de Copérnico no permitía que las órbitas de todos los planetas pasaran cerca del Sol. Aún cuando se hacía esta hipótesis existía un pequeño error en los cálculos que no compaginaban con las observaciones obligando a Kepler abandonar las hipótesis de que las órbitas planetarias eran circulares y los movimientos de los planetas uniformes, y le llevó a formular sus dos primeras leyes ambas publicadas en 1609 en *Astronomia nova*:¹⁰³

1) los planetas se mueven en órbita elíptica con el Sol en uno de sus focos.

2) cada planeta se mueve, no uniformemente, sino de forma que la línea que une su centro con el Sol barre áreas iguales en tiempos iguales

Después de diez años de trabajo llegó a su tercera ley, publicada en su obra *De armonice mundi*: los cuadrados de los periodos de revolución de dos planetas cualesquiera son proporcionales a los cubos de sus distancias medias.¹⁰⁴ Kepler siguió el método de ensayo y error e hizo una serie de comparaciones de las velocidades instantáneas, de los periodos y las distancias de los distintos planetas, pero no consiguió ninguna fórmula significativa. Finalmente ensayó comparaciones de potencias de esos números, y encontró que los de su tercera ley daban una adecuación empírica exacta.

El trabajo de los astrónomos prácticos fue facilitado por los perfeccionamientos de los métodos de cómputo, primero por el uso sistemático de fracciones decimales introducido por Stevin, pero sobre todo por la publicación en 1614 del descubrimiento de los logaritmos por Napier. Siguiendo esto, otros matemáticos calcularon tablas para las funciones trigonométricas y adaptaron los logaritmos a la base natural e. La regla de cálculo fue inventada por Guillermo Oughtred en 1622.¹⁰⁵ Kepler utilizaría algunas de estas innovaciones para poner en orden sus resultados prácticos personales. Así las tres leyes de Kepler proporcionaron una solución definitiva al antiguo problema de descubrir un sistema astronómico que a la vez "salvara" las apariencias y describiera las trayectorias "reales" de los cuerpos a través del espacio.

Kepler hizo una exposición de su concepción de la filosofía y de los métodos de la astronomía en el primer libro de su manual, *Epitome astronomiae copernicae*, publicado en 1618. Concebía que la astronomía comenzaba con las observaciones, que eran traducidas por medio de los instrumentos de medida en longitudes y números para ser tratadas por la geometría, el álgebra y la aritmética. Luego se formulaban hipótesis que unían las relaciones observadas en sistemas geométricos que "salvaran las apariencias". Finalmente la física estudiaba las causas de los fenómenos relacionados por una hipótesis que debía de estar de acuerdo también con los principios metafísicos.¹⁰⁶

La obra de Kepler no fue el simple descubrimiento de las verdaderas leyes descriptivas del movimiento planetario; también hizo las primeras sugerencias de una nueva cosmología física con la que ellas se adecuarían. El que no tuviera éxito en este intento es en parte una medida de la extrema

¹⁰³ *Ibidem*, p. 164.

¹⁰⁴ *Ibidem*, p. 166.

¹⁰⁵ *Ibidem*, p. 167.

¹⁰⁶ *Ibidem*, p. 168.

dificultad del problema, que fue únicamente resuelto cuando Newton unió las leyes planetarias de Kepler con el complemento de la dinámica terrestre de Galileo por medio de la ley puente de la gravitación universal.

Los descubrimientos de Galileo (1564-1642) motivaron el desarrollo de la astronomía, publicando la mayor parte de sus descubrimientos astronómicos en la segunda década del siglo XVII favoreciendo a la teoría copernicana. Galileo investigó las propiedades ópticas de combinaciones de lentes y construyó para sí mismo diversos telescopios mejorados. Con ellos examinó los cielos y descubrió que los cuerpos celestes no eran en absoluto tan perfectos y superiores a la Tierra como sugería la tradición aristotélica. Había manchas en la faz del Sol y la luna parecía tener semejanza con la tierra, poseyendo montañas y valles, lo cual derrumbaba la creencia de que los cielos eran immaculados e inalterables. Descubrió que la Vía Láctea constaba de muchísimas estrellas fijas. Galileo halló que el planeta Venus tenía fases como la luna, y que el planeta Júpiter poseía cuatro lunas, presentando según creía una imagen en miniatura del sistema solar de acuerdo con el sistema copernicano.

Galileo publicó más tarde su *Diálogo sobre los dos máximos sistemas del mundo, el ptolemaico y el copernicano*. Este libro se abrió directamente contra la doctrina aristotélica de que los cuerpos celestes eran muy diversos y distintos de la tierra en composición y propiedades.¹⁰⁷ La aparición de nuevas estrellas, cometas, manchas solares y las montañas de la luna se citaban todos ellos como prueba en contra de la opinión aristotélica,¹⁰⁸ a la vez que sus observaciones sensibles no pueden de ninguna manera ser reconciliadas con el sistema ptolemaico, sino que son los argumentos más fuertes en favor del copernicano. La contribución fundamental de Galileo al debate cosmológico fue el darse cuenta de que en la nueva dinámica inercial existía un criterio físico nuevo y preciso.¹⁰⁹ Tratando todo movimiento, lo mismo celeste que terrestre, como explicable por un único sistema de dinámica, quería reunir en este sistema la explicación y los medios de predicción de los distintos movimientos. Vio en la ley de la inercia la posibilidad de una teoría superior con la que era incompatible la teoría geocéntrica y solamente compatible la heliocéntrica. Fracasó en su intento de emplear este criterio dinámico, porque no fue capaz de generalizar completamente la ley de inercia, ni de apreciar la verdadera geometría del sistema heliocéntrico.¹¹⁰

Otra hipótesis que se tenía del universo era la ideada por René Descartes (1596-1650) en la cual el universo físico tenía que formar un lleno cerradamente compacto, sin ningún vacío físico. En un mundo así sólo puede imprimirse movimiento a un cuerpo por contacto con otro y únicamente se da en circuitos cerrados; no existe ningún vacío por donde pueda pasar un cuerpo. De ahí formó Descartes su teoría de los remolinos actuando en la materia primordial o éter, que es invisible, pero que llena todo el espacio. Así como una paja que flota en el agua es atraída y captada por el remolino al centro del vórtice, así es atraída hacia la tierra la piedra al caer y los satélites hacia sus planetas, mientras que a su vez los planetas y la Tierra, con sus correspondientes y circundantes vórtices se ven arrastrados hacia un remolino mayor alrededor del Sol.¹¹¹

El inglés, William Gilbert (1544-1603) publicó un libro sobre los imanes en 1600. Había construido un imán esférico llamado terella, y encontró que giraba sobre sí mismo si se le colocaba en un campo magnético, de esto dedujo que toda la Tierra era un imán, que la gravedad era una

¹⁰⁷ Stephen, F. Mason, *op. cit.*, p. 49.

¹⁰⁸ *Ibidem*, p. 50.

¹⁰⁹ Crombie, A. C., *op. cit.*, p. 186.

¹¹⁰ *Ibidem*, p. 187.

¹¹¹ Dampier, William Cecil, *Historia de la ciencia y sus relaciones con la filosofía y la religión*, Ed. Aguilar, Madrid, 1970, p. 164.

forma de atracción magnética, y que los principios del imán podían explicar la forma en que actuaba el conjunto del sistema de Copérnico. Tanto Kepler como Galileo fueron influenciados sobre esta opinión.¹¹²

En los años 1630 surgió la idea de una interpretación enteramente mecanicista del universo, y sus principales exponentes fueron hombres religiosos (Kepler era protestante y Galileo católico). Sentían la inquietud de demostrar lo adecuado y perfecto de la creación, de demostrar el racionalismo de Dios.

Durante y después de estas hipótesis y descubrimientos, se desarrollaron progresos y métodos paralelamente en torno a la ciencia astronómica. Las mejoras introducidas en los instrumentos de observación permitieron una mejor observación telescópica del sistema solar. Esto dio comienzo a que se erigieran los primeros observatorios dotados con instrumentos ópticos, como lo fueron el observatorio de Copenhague, el observatorio de París y el observatorio de Greenwich, laborando en ellos Olaf Römer (1644-1710), Jean Dominique Cassini (1625-1712) y John Flamsteed. Ellos hicieron algunas contribuciones al progreso del arte náutico mediante la determinación precisa de las posiciones de los planetas, satélites y estrellas que fuesen apropiados para este fin, así como calcular tablas de eclipses de los satélites de Júpiter más precisas para el cálculo de la longitud. Johann Hewelke, más conocido por su nombre latinizado Johannes Hevelius (1611-1687) hizo una obra llamada *Selenographia sive lunae descriptio*. Con las ilustraciones de este libro se inician los estudios de nuestro satélite.¹¹³ Jean Picard emprendió las mediciones geodésicas destinadas a una mejor determinación de las dimensiones de la Tierra; Olaf Römer descubrió en el siglo XVII la velocidad finita de la luz al observar los eclipses de los satélites de Júpiter.¹¹⁴

También se realizaron trabajos como encontrar directa y geoméricamente el apogeo y la excentricidad de un planeta, determinar la oblicuidad de la elíptica, y estudiar fenómenos celestes que aparecían en la bóveda celeste como los cometas, siendo estos astros muy estudiados por los científicos del siglo XVI y XVII.

Halley se dedicó a estudiar los cometas, los cuales mucha gente los creía malignos, causantes de infortunios. Paralelamente a esta superstición se ve aparecer, la corriente científica y racionalista que habría de despojarlos del triste honor de ser malignos. Fueron principalmente Copérnico y Tycho Brahe quienes en el siglo XVI propusieron diversas hipótesis tendientes a explicar los movimientos de los cometas y el tipo de órbita que recorrían.

Kepler intentó dar explicaciones físicas de la naturaleza de los cometas, aunque no por ello dejaban de tener sus creencias astrológicas. En su *Tratado de los cometas* escribe: "no son eternos como lo pensó Séneca, sino que están formados de materia celeste, la cual no siempre es pura".¹¹⁵ Galileo los creía supralunares, y casi en la faz misma del Sol central. El uso del telescopio le permitió observar el cometa de 1604. Él los creía formados de exhalaciones terrestres elevadas al cielo y que las órbitas que recorrían eran rectas. Astrónomos como Ricciolo, Borelli y Cassini indagaron acerca de la forma geométrica de las órbitas cometarias y propusieron teorías en parte congruentes y en parte falsas sobre la formación y composición de los cometas. Hevelius reunió ideas en torno a los cometas en dos tratados: *Prodromus cometicus* y *Cometographia*. Hevelius también compartía los perjuicios corrientes de la época sobre la naturaleza física de los cometas y creía que eran exhalaciones de los planetas. Hevelius reconoció que los cometas no se mueven sobre

¹¹² Butterfiel, Herbert, *Los orígenes de la ciencia moderna*, CONACYT, México, 1981, p. 95.

¹¹³ Papp, Desiderio, *op. cit.*, p. 133.

¹¹⁴ *Ibidem*, p. 124.

¹¹⁵ Trabulsee, Elías, *Ciencia y religión en el siglo XVII*, El colegio de México, México, 1974, p. 9.

circunferencias como supusiera Copérnico, ni sobre rectas como suponía Kepler sino sobre parábolas en cuyo foco está ubicado el Sol.¹¹⁶

Al igual que los planetas, los cometas también obedecen (como Newton demostrara en los *Principia*) a la ley de la atracción universal. Sus trayectorias han de ser parabólicas, hiperbólicas o elípticas, es decir, una de las secciones cónicas que los cuerpos celestes sometidos a la acción de un cuerpo central pueden describir. Al aplicar su ley al cometa de 1680, Newton dio una comprobación de su teoría demostrando que la órbita parabólica satisfacía los datos de la observación de la trayectoria de este cometa. Ahora bien, un cuerpo celeste que describe una parábola, que es una curva abierta, de la cual el Sol es el foco, se aleja para siempre de éste después de haber pasado por su perihelio. Pero quedaba la duda de que si había cometas que tuvieran como órbita una elipse que fuera muy excéntrica. Newton dejó el problema abierto. Halley calculó las órbitas de 24 cometas, es decir de todos los que pudo encontrar suficientemente estudiados, y advirtió que tres de esos astros (los cometas de 1531, 1607 y 1682) describían órbitas sensiblemente iguales. Halley había determinado esas órbitas suponiéndolas parabólicas, suposición que simplificaba los cálculos y que condujo a resultados acordes entre las trayectorias calculadas y las observadas. Halley observó que los intervalos entre las apariciones sucesivas de esos cometas eran de 75 años; volvió a hacer los cálculos, pero esta vez con la hipótesis de que la trayectoria fuera elíptica observando que los tres cometas no eran sino uno solo, con un periodo de cerca de 75 años. Seguro de este descubrimiento, pronosticó que el cometa después de recorrer una larga trayectoria elíptica, volvería a aparecer en 1758.¹¹⁷

1.13 Aplicaciones prácticas de la astronomía

Tanto los avances en la astronomía como sus instrumentos de medición, apoyados en los respectivos avances en las matemáticas, hicieron que las dos consecuencias científicas de la astronomía que fueron la náutica y la cartografía pudieran avanzar. Así las actividades astronómicas como la confección de los mapas celestes y los catálogos de estrellas constituyen la primera base del trabajo astronómico; listados de estrellas que registran su posición y brillo; apreciaciones de los movimientos de los planetas, satélites y cometas. Todos estos registros de los cuerpos celestes aumentaron al inventarse el telescopio e instrumentos de medición. El método empleado para la confección de los catálogos de estrellas, muy importantes para la navegación, consistía en determinar la posición de algunas estrellas escogidas como fundamentales con sumo cuidado y luego utilizarlas como referencia para determinar la posición de las restantes. Las coordenadas a medir eran la declinación y la ascensión recta tomando como referencia un punto fijo. Este trabajo era elaborado por todos los astrónomos del siglo XV y se fue haciendo cada vez más preciso para las aplicaciones, sobre todo en el cálculo de la longitud y latitud. Una aplicación de lo anterior era para el cálculo de ésta última. La latitud, por lo general se determinaba por la altura del polo; pero la posición de la estrella polar no coincide exactamente con éste, sino que varía lentamente, siendo preciso recurrir a métodos de corrección y los anteriormente mencionados catálogos de estrellas. Si se utilizaba la altura meridiana del Sol, era preciso conocer la declinación de éste, para lo cual

¹¹⁶ Papp, Desiderio, *Panorama general de historia de la ciencia*, vol VII, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1954, p. 133.

¹¹⁷ *Ibidem*, p. 140.

existían tablas. Estas correcciones, incluida la de refracción, no introducían errores de gran consideración.¹¹⁸

El mayor problema con el que los científicos de los siglos XVI y XVII se enfrentaron fue el de fijar la longitud geográfica de un lugar determinado. El método común era calcular la diferencia del tiempo local en la observación de un fenómeno astronómico, generalmente un eclipse. El intercambio entre astrónomos situados en dos puntos distantes de la tierra y su cotejo permitía fijar la longitud y actualizar las tablas astronómicas. Este método, propuesto por Gemma Frisius en el siglo XVI fue el utilizado con más frecuencia por los astrónomos y geógrafos del siglo siguiente. Otra forma de calcular la longitud era estudiar el movimiento de la Luna fijando sus diversas posiciones o coordenadas en unas Efemérides que pudiesen ser utilizadas aún en alta mar.¹¹⁹

El descubrimiento hecho por Galileo en 1610 de los tres primeros satélites de Júpiter había permitido estudiar sus eclipses y fijar con relativa precisión algunas longitudes de ciudades europeas. No fue sino hasta 1667 con Jean Cassini que se lograron resultados prácticos aun en la determinación de la longitud en alta mar. Con la invención del reloj pudo ser empleado el método denominado del "transporte del tiempo", que consistía en llevar un reloj portátil de un lugar a otro, determinando la diferencia de horas que existía entre la hora local y la marcada por el reloj; este método era pernicioso ya que los relojes con que se contaba en aquel entonces no eran muy exactos. Un último método era el de determinar las distancias de la luna a ciertos planetas, lo que permitía elaborar tablas que fueron muy utilizadas en el siglo XVI y parte del XVII, pero que cayeron en desuso dada su inexactitud. Sin embargo, el problema de las longitudes geográficas distaba de encontrar una solución a la vez que existía inexactitud de las tablas y efemérides que se utilizaban o bien a que los astrónomos no se ponían de acuerdo respecto del meridiano del cual hacer partir las longitudes. Era de importancia resolver el problema porque no se tenía una representación de la superficie terrestre y de las ciudades sobre un plano. El problema era muy complejo ya que para su solución se debía tener unas observaciones astronómicas muy exactas junto con ello la determinación de las relaciones entre coordenadas geográficas (longitud y latitud) sobre la tierra y coordenadas sobre el plano de la representación cartográfica siendo en esto último la aplicación de las proyecciones cartográficas, siendo este a su vez otro problema ya que existían proyecciones no muy exactas en los siglos XVI y XVII.

Era necesario tener un valor exacto de la longitud ya que la preocupación de hacer mejores mapas había motivado desde el siglo XVI al quehacer geográfico haciendo desarrollar una corriente al respecto: El humanismo geográfico.¹²⁰ Este se centró en el llamado renacimiento de Ptolomeo, es decir, en la recuperación y difusión de la Geografía de este autor helenístico. Este texto provocó la reinstauración de la geografía matemática o astronómica, caracterizada por señalar la longitud y latitud de cada lugar o accidente, frente a la mera descripción intuitiva del saber geográfico vigente en la Europa medieval. En cartografía, ello supuso la introducción de mapas con meridianos y paralelos, trazados con una de las dos proyecciones utilizadas por Ptolomeo: la proyección cónica sobre un paralelo base para los mapas generales y la rectangular (con las coordenadas en ángulo recto) para los de zonas particulares. Como en las demás disciplinas, esta corriente humanística reforzó el criterio de autoridad.¹²¹

¹¹⁸ Trabulse, Elías, *Ciencia y tecnología en el Nuevo Mundo*, Fondo de Cultura Económica, México, 1993, p. 65.

¹¹⁹ Trabulse, Elías, *El círculo roto*, Fondo de Cultura Económica, México, 1982, p. 132.

¹²⁰ López Piñero, *op. cit.*, p. 212.

¹²¹ *Ibidem*, p. 213.

Durante mucho tiempo, los datos de Ptolomeo se prefirieron a los que proporcionaba la experiencia y no se reconocieron sus errores en las determinaciones de la longitud y latitud, ni tampoco en la estimación de la circunferencia de la tierra. Así los primeros planos y mapas que representaban puntos geográficos con la longitud y latitud aproximadas no representaban mucho problema ya que dichos puntos geográficos se localizaban en extensiones de área no muy extensas. El problema empezó a hacerse notorio cuando empezaron a tratar de localizar puntos geográficos muy distantes.

Así la cartografía se enfrentaba a problemas grandes cuando se trataba de mapas globales. Las deficiencias se percibían también en la navegación, pues mostraban estar en total desacuerdo con la realidad. El problema era que los mapas usados estaban hechos con los patrones antes descritos, y mientras la navegación tuvo por ámbito la cuenca mediterránea, las cartas de brújula o "portulanos" correspondían bien a la realidad física, porque entre latitudes no mayores de 45° las curvas seguidas por un navío con rumbo fijo, es decir, formando ángulo constante con el meridiano (las llamadas "rumbos"), estaban representadas en el portulano por líneas rectas, por lo que, aunque no correspondían estrictamente a la realidad, el grado de error no era demasiado grave. Pero en los viajes transoceánicos la situación era distinta ya que el error podía ser considerable y progresivo. Las cartas geográficas utilizadas no representaban fielmente la realidad geográfica. Por otra parte, el cálculo de las longitudes sobre todo en alta mar, resultaba muy difícil y los datos obtenidos distaban de ser confiables. Así al recorrer grandes distancias, sobre todo por mar, una carta que no tuviera en cuenta la forma esférica de la tierra y la convergencia de los meridianos podía generar errores graves, ya que cualquier punto del mapa resultaba falsa la relación proporcional que se obtenía entre el avance hacia el norte (la latitud) y el avance hacia el oeste (la longitud).¹²²

La solución al problema de la representación de un punto geográfico en un plano tomando en cuenta la curvatura de la Tierra se logró hasta 1569 cuando Gerard Mercator elaboró una tabla de longitudes y latitudes en la que, mediante una proyección matemática, se representaba la curvatura del globo terráqueo. Esta solución era parcial, porque el problema de la longitud, aún no era resuelto.

¹²² Trabulse, Elías, (1993), *op. cit.*, p. 44.

2 EL SURGIMIENTO DE LA CIENCIA EN LA NUEVA ESPAÑA

2.1 Antecedentes

El devenir del mundo colonial estuvo condicionado por los grandes movimientos generales que dieron carácter a la época: el descubrimiento, la colonización multinacional, la Reforma, la pugna por la hegemonía atlántica, las nuevas ideas científicas y la revolución tecnológica, entre otros. España, la madre patria, se vio envuelta, como en el resto de Europa durante el siglo XVII, en un torbellino de cambios violentos y vertiginosos. Con las primeras exploraciones al nuevo continente, empieza a llegar el saber europeo a él. Se puede decir que hay una primera etapa (1492-1502) de asombro y descripción de las indias llamadas "occidentales". En la segunda etapa (1502-1513) ya se sabe que aquellas tierras no eran Asia, sino un Nuevo Mundo. La tercera (1513-1520) está marcada por la búsqueda del paso del océano Pacífico y a Asia, lo que probaría la redondez del Orbe.¹

El impacto cultural fue más profundo, pues inició un proceso de aculturación que destruyó al menos oficialmente las culturas indígenas preexistentes: comenzando con la evangelización, prontamente iniciada, culminando con la enseñanza o imposición de la cultura, lengua y mentalidad hispanas -y europeas-. A la vez los españoles trasplantaron a los indígenas las mismas formas de trabajo, prestaciones y organización de tipo cuasifeudal que ellos mismos poseían en la península Ibérica.

Al margen de lo que el descubrimiento supuso como aproximación de España a la riqueza y al poder mediante la ruta de la especiería -como se creía al principio- o a través de la captación de oro -como se intentó después-, la realidad es que, por un lado revolucionó los conocimientos y teorías científicas existentes sobre la geografía y el arte de la navegación, al tratar de situar en aquellos mapas y cartas náuticas las islas y territorios descubiertos, y por otro, la ciencia que más desarrollaron los europeos en América fue la historia natural, hoy conocida como ciencias naturales; además la medicina y la farmacopea de la época necesitaban las hierbas y otras substancias naturales como materia básica de sus remedios, emplastos y pócimas llevando a los españoles y novohispanos a profundizar más en ésta área.

Las nuevas sociedades que se estaban formando en el dilatado territorio americano poseían una economía diversificada y en crecimiento. Las producciones minera, agrícola y

¹ Martínez Sanz, José Luis, *Relaciones científicas entre España y América*, Ed. Mapre, Madrid, 1992, p. 65.

artesanal constituyeran los ramos principales. Toda esta actividad económica necesitaba para su desarrollo de diversos insumos de naturaleza tanto material como intelectual producidos localmente, pues no siempre se pudo contar para ello con la alejada y ajetreada Metrópoli. En efecto, esta necesidad llevó a buscar materias primas en varios lugares y a desarrollar innovaciones técnicas para la industria. Una enorme gama de corrientes ideológicas llegaban de Europa y se fusionaban con las circunstancias americanas.

Después de la fundación de la Nueva España comenzaron a llegar los conocimientos científicos de la antigüedad clásica y los desarrollados en Europa durante el siglo XVI; empezaron a aparecer las primeras publicaciones científicas de carácter práctico, los tratados de cirugía y medicina. Estas dos actividades científicas habían alcanzado el mayor nivel de profesionalización e institucionalización sociales. Podríamos decir que los primeros científicos fueron Pedro García de Farfán difusor de la terapéutica indígena; Francisco Bravo autor de la primera obra de medicina en México publicada en 1570 con el título *Opera medicinalia* donde trata entre otros temas, del tabardillo, de la vena que debe sangrarse en la pleuresía, de los días críticos y de la zarzaparrilla. Sus fuentes son Hipócrates, Galeno, Avicena, Races Vallés, Fracastoro y Monardes; Alonso López de Hinojosos (?-1597) autor de *Summa y recopilación de chirugía* impresa por primera vez en 1578, la cual posee datos interesantes para la medicina mexicana, como las referentes a la epidemia del cocolixtle; la de fray Francisco Ximénez titulada *Quatro libros de la naturaleza*, es un libro especializado en farmacopea botánica mexicana; y Juan de la Fuente (?-1606), siendo este último el primer catedrático de medicina de la Real Universidad de México.² La mayor parte de esos libros también citan a Galeno, Hipócrates, Avicena y Aristóteles.

Posteriormente, los primeros colonizadores también observaron la gran cantidad de flora y fauna que habitaba en la Nueva España, lo que también motivó a su estudio, dando nacimiento a los primeros estudiosos de las ciencias naturales en la Nueva España, siendo uno de ellos Juan Cárdenas (1563-1609) que a la vez también incursionó en medicina. Otro estudioso de ésta área fue Pedro Arias de Benavides, que escribió *Secretos de chirugía*, obra de interés para conocer aspectos de la farmacoterapia botánica americana y en particular la mexicana. En la primera parte de esta obra trata de la zarzaparrilla, el ruibarbo, la "planta de Michoacán", el guayacán, la "higuera del infierno" o catapucia, el maguey, las tunas, los aguacates y las guayabas. Así mismo describe el célebre bálsamo de las indias, el liquidámbar y la tecomhaca, entre otras gomas y resinas. En la segunda parte habla del morbo gálico, o sea la sífilis y de otras enfermedades. Parte de esta obra encaja en el área médica.³

Al mismo tiempo se iban desarrollando otras actividades como la minería, la agricultura, y la ganadería; el comercio se vinculó con ellas por las ganancias que generaban. Los españoles al querer extraer la riqueza que ofrecían las nuevas tierras, empezaron a implantar técnicas europeas especialmente en la actividad minera. La minería como actividad eminentemente práctica y técnica que había sido cultivada y desarrollada en Europa se fue modificando y adaptando su técnica a las particularidades de las minas novohispanas.

Las enormes riquezas y el bienestar económico para la Nueva España y para la Metrópoli provenientes de la explotación argentífera se incrementaban a partir de los interesantes avances técnicos que se produjeron en la Nueva España. Por ejemplo, Bartolomé de Medina (1530-1580) introdujo la técnica llamada "beneficio de patio" que produjo una revolución que repercutió en un incremento en la producción de la plata.⁴ A partir de esa nueva técnica, la minería

² Rodríguez Sala de Gomezgil, María, *Raíces de la cultura nacional: Los primeros científicos de la Nueva España*, Ed. Chromatos, México, 1994, p. 13 y 15.

³ Trabulse Atalá, Elías, *Los orígenes de la ciencia moderna en México 1630-1680*, FCE, México, 1994, p. 44

⁴ Rodríguez Sala, *op. cit.*, p. 17.

novohispana se constituyó en la principal actividad económica. De ella se fortalecerían las demás actividades: agricultura, ganadería y comercio.

La ganadería y la agricultura constituyeron la segunda riqueza después de la minería. La primera de ellas tuvo su inicial fuente de abastecimiento en España, de donde provinieron los pies de cría. Su riqueza fue menos cíclica que la minera, mucho más estable y generalizada a diferentes capas sociales. Su expansión inicial se produce durante la mitad del siglo XVI y su desarrollo lleva a su configuración normativa que se basó en las instituciones españolas, pero que tuvo que ser adaptada a las necesidades locales. El caballo que también tuvo importancia en la ganadería y también para otro tipo de actividades, sobre todo ecuestres. No es de extrañar que hayan existido los primeros veterinarios dedicados al cuidado del ganado vacuno, bovino y caballar, siendo un claro ejemplo la obra de uno de los criollos novohispanos del siglo XVI, Juan Suárez de Peralta (1537-?). En su opúsculo se preocupa por la cría y cuidados médicos del caballo, así como su manejo. Juan Suárez de Peralta fue el primer criollo tecnocientífico.⁵

La agricultura fue la rama de la producción que ocupó el tercer sitio en la economía novohispana. Se fincó en el centro de la Nueva España y en el cultivo de los productos nativos: maíz y maguey. Los introducidos por los españoles, como el trigo se limitaron a zonas específicas de poca extensión territorial, así como aquellos cultivos tradicionales: algodón, cacao, vainilla y cochinilla o grana.

Poco clara es la relación entre la actividad agrícola y el aspecto técnico de este saber durante la segunda mitad del siglo XVI. Solo se conoce la obra *Tratado de agricultura* de Alojos de Herrera.⁶ No hay más vestigios de algún otro personaje que haya hecho una obra científica o técnica en lo referente a aspectos relacionados con la agricultura. Puede uno suponer que alguna vez hayan existido más obras para tal fin, ya que los cultivos que trajeron los españoles tuvieron que adecuarse, en menor o mayor grado, al clima que existía en tierras novohispanas y a algunas otras variaciones. Sólo en forma indirecta podemos referirnos a una vinculación; ésta cubre varios temas del conocimiento teórico y del práctico, pero se da principalmente, a través de la difusión de la medicina tradicional. Es al empleo de la terapéutica herbolaria tradicional al que se dedica el mayor número de trabajos; también son los indígenas quienes poseen el conocimiento empírico de las plantas y frutos que existen en diferentes regiones del país y quienes dan a conocer sus aplicaciones a los naturalistas. De aquí surgirán tratados en torno al estudio de las plantas nativas de la Nueva España, dándose así el estudio de las ciencias naturales y al mismo tiempo, también surgirán tratados de medicina, en los cuales se exponía la cura de ciertas enfermedades por medio de plantas. Juan Cárdenas fue uno de los estudiosos que unió la medicina con la herbolaria. Francisco Hernández (1517-1587) es ejemplo del cultivador de uno de los saberes teóricos característicos de la época, la historia natural. Sus observaciones sobre las plantas nativas de la Nueva España las dejó publicadas en algunas obras.⁷

Dos actividades más se presentan durante la segunda parte del siglo XVI, las que recaen en la incipiente industria y en el floreciente comercio. La corona española tenía controlado el desarrollo comercial e industrial. Las colonias de ultramar estuvieron consideradas exclusivamente como suministradoras y receptoras de productos, sin la capacidad de transformarlos y con ello participar en el sistema productivo. A partir de la legislación de 1543 se presentó un cambio que permitió el crecimiento comercial. Paulatinamente la Ciudad de México se fue convirtiendo en el imperio comercial americano: aquí radicaban los grandes comerciantes, los medianos y los pequeños. Sin dificultad se concentró la riqueza y se desarrolló inclusive el comercio del dinero; los ricos mercaderes empezaron hacer transacciones financieras siendo prestamistas e inversionistas que irradiaban su poder económico a toda la Nueva España. Fue a

⁵ *Ibidem*, p.17.

⁶ Trubulsc Atalá, (1994), *op. cit.*, p. 51.

⁷ *Ibidem*, p. 49.

través de ellos en donde se apoyaron las actividades ganaderas y mineras, entre otras. Además la corona española sabía bien la cantidad de riqueza que generaban las colonias. Esto motivó el auspicio de las expediciones hacia el septentrión para la apertura de nuevas rutas comerciales, de nuevos poblados y de búsqueda de minerales y de riquezas naturales. Esto también inició el desarrollo de la cartografía y estudios geográficos, además de tratados conteniendo descripciones pormenorizadas de la configuración geográfica de las indias, conteniendo algunos planos y mapas de bahías, puertos y algunos otros accidentes geográficos. Juan Escalante de Mendoza y Nicolás de Cardona (1570-1625) son algunos de los autores de dichos tratados náutico-geográficos. *Las Descripciones geographicas e hydrographicas* es el título de uno de dichos tratados, cuyo autor es Nicolás de Cardona.⁸

La actividad mercantil, con su acumulación de riqueza durante la segunda mitad del siglo XVI, dio pie al desarrollo de una de las líneas aplicadas de las matemáticas, el cálculo mercantil, rama práctica que tuvo gran importancia en España. En ella se producen varios “manuales de cuentas” destinados a las diferentes actividades económicas, los cuales también se diversifican a medida que las actividades económicas también lo hacen; estas obras también se adaptan a las situaciones socioeconómicas locales. En la Nueva España se trabajó esta vertiente práctica de las matemáticas. Pocos son los autores de estos trabajos. Solamente se ha sabido de una obra cuyo título es: *Sumario compendioso de las cuentas de plata y oro que en los reinos del Pirú son necesarias a los mercaderes y todo género de tratantes con algunas reglas tocantes a la aritmética* el cual fue impreso en la Nueva España en 1556, siendo su autor el “aritmético” Juan Díez Freile, vecino de México. La obra consta de 124 páginas de tablas, reducciones y una breve sección de “questiones o problemas de aritmética” con un apéndice de seis páginas de “arte mayor”, donde se hace uso de ciertos métodos algebraicos, acordes con los avances logrados hasta entonces en esa rama de las matemáticas. Así por ejemplo, Díez aborda la solución de ecuaciones cuadráticas del tipo $x^2 + 15 \frac{3}{4} = x$, o bien del tipo $x^2 + x = 1260$, ambas planteadas en forma de problemas prácticos.⁹ Estos manuales, útiles en operaciones mercantiles, fueron de uso común durante la época colonial ya que eran de gran provecho en la conversión de valores en los cálculos del impuesto del quinto real y para diversidad de operaciones aritméticas que resultaban muy difíciles de resolver. Esto los convierte en el complemento perfecto de los tratados de beneficio de plata que se imprimieron en el periodo colonial.

La doctrina de enriquecimiento de metales preciosos de la corona española, mantuvo la actividad mercantil que era controlada a través de los puentes marítimos. Se establecen las rutas comerciales que cruzan de este a oeste; desde Sevilla como el centro general de salida de toda la mercancía bajo la supervisión de la Casa de Contratación, por Cádiz como puerto de embarque hasta las Filipinas.¹⁰ En la navegación existían problemas no resueltos aún del todo como el problema de la latitud y longitud en alta mar. La casa de contratación de Sevilla fue creada a pocos años del descubrimiento de América; en ella se realizaban varias actividades referentes al arte de navegar, es decir observaciones celestes, realización de mapas, instrucción de marineros, etc. Al difundirse estos conocimientos en las colonias españolas y en particular en la Nueva España, alentaría a algunos eruditos criollos a incursionar y darle solución a algunos problemas en dichas áreas en el siglo siguiente.

Las transformaciones de la Nueva España no sólo abarcaron las actividades materiales de la economía, también se dejaron sentir en la vida religiosa y en la administración pública. Fueron el control organizativo, la normatividad jurídica y la burocracia peninsular las que permearon toda la vida social de la segunda mitad del siglo XVI. En este contexto se explica la regulación que realizó Felipe II de España en materia de asuntos científicos y técnicos que comprenden las

⁸ Trabulse Atalá, Elias, *Ciencia y tecnología en el Nuevo Mundo*, El Colegio de México, México, 1993, p. 23.

⁹ D. E. Smith, *History of mathematics*, Dover, New York, 1958, p. 385.

¹⁰ Rodríguez Sala, *op. cit.*, p. 20.

ordenanzas de nuevos descubrimientos y poblaciones, las relaciones geográficas y las expediciones científicas. Todas estas medidas responden también al espíritu racionalista y a la acción ilustrada del monarca Carlos III. La política regalista¹¹ favoreció a la Nueva España en el desarrollo institucionalizado de las exploraciones que permitirán la expansión de las fronteras territoriales y con ello de algunas disciplinas científicas.

Simultáneamente se propició la dilucidación, registro, y difusión del rico pasado de las culturas indígenas, motivando el desarrollo de otras disciplinas como la historia, la lingüística, etc., que si bien no son del área científica no dejan de ser conocimiento. Una obra que corresponde a lo dicho anteriormente es el *Arte de aprender la lengua mexicana* cuyo autor es fray Andrés de Olmos (?-1571). Este fraile se dedicó a la etnografía y la historia. Rodríguez Sala de Gomezgil lo califica como el primer misionero científico humanista. Otro fraile que también tuvo conocimiento de las mismas que de Olmos fue fray Bernardino de Sahagún (1501-1590) el cual fue el sistematizador de la historia y etnografía de los primeros mexicanos. Otros estudiosos que se dedicaron a la historia de la Nueva España fueron Pedro Mártir de Anglería, siendo éste el primer cronista de indias, y Francisco Cervantes de Salazar (1514-1575), que además de que estudió literatura y retórica.¹²

La introducción de las principales corrientes del pensamiento humanista-renacentista en la gran mayoría de los saberes fue también una aportación en las décadas de la segunda parte del siglo XVI. Algunas de sus representaciones se dieron en el marco de las dos principales instituciones de educación superior: la Universidad de México la cual inició sus actividades el 25 de enero de 1553 y el colegio de San Pedro y San Pablo de los Jesuitas, además de otros colegios de religiosos. El crecimiento de la vida académica universitaria estuvo regulada por sus estatutos originales. A partir del inicio de las cátedras fundamentales y tradicionales agrupadas en el trivium y el cuadrivium para la formación de sus miembros. Las cátedras y profesores con que se inauguró la Universidad de México fueron las siguientes: Prima de Teología, fray Pedro de Peña; Sagrada Escritura, fray Alonso de la Veracruz; Prima de Cánones, doctor Morones; Prima de Leyes, doctor Frías de Albornoz; Artes, Juan García; Retórica, doctor Francisco Cervantes de Salazar; Gramática, doctor Blas de Bustamante; y Decreto, doctor Melgarejo. A estas cátedras se fueron agregando en 1569 las de Instituta y de Código y en 1578 se estableció la cátedra de Prima de Medicina, a cargo del doctor Juan de la Fuente. En 1580 se fundaron las cátedras Vísperas de Teología y de Teología Moral. En 1595 el papa Clemente VIII le concede a la Universidad el título de Pontificia. En 1599 se introdujo la cátedra de Vísperas de Medicina, profesada por Juan de Plascencia. En 1621 se agregaron las cátedras de Método Medendi y Anatomía y Cirugía. En los años restantes de la centuria se crearon las cátedras de "Vísperas de Cánones , Clementinas y Mexicano, Astrología y Matemáticas, Prima de Filosofía, Otomi, Santo Tomás, Vísperas de Leyes y la de Sutil Escoto".¹³

Otros acontecimientos científicos y culturales que se produjeron para ubicar el estado de la actividad científica en la Nueva España fueron la regulación oficial de las exploraciones poblacionales, iniciadas años antes, y se dan las ordenaciones para la elaboración de las "Relaciones geográficas". En 1570 y 1576 tiene lugar la primera expedición científica española en tierras de la Nueva España a cargo del médico y naturalista Francisco Hernández.¹⁴

A principios de 1570 llegan los primeros jesuitas y poco tiempo después establecen sus propias instituciones de enseñanza, a las que acuden muchos jóvenes españoles y criollos. Hacia finales del siglo los jesuitas han acumulado experiencia docente adecuada a los requerimientos de la sociedad novohispana. Uno de los jesuitas que se conocen de la época es el padre Antonio

¹¹ Regalista se refiere al defensor de las regalías de la corona en las relaciones del estado con la iglesia.

¹² Rodríguez Sala, *op. cit.*, p. 24.

¹³ De Gortari, Eli, *La ciencia en la historia de México*, FCE, México, 1963, p. 185 y 186.

¹⁴ Rodríguez Sala, *op. cit.*, p. 24.

Rubio, quién ha sido considerado como el precursor de la filosofía de la ciencia y uno de los difusores de la labor filosófica que se estaba realizando en la Nueva España.¹⁵

De lo anterior se puede ver que la actividad científica en la Nueva España durante la mayor parte del siglo XVI estuvo estrechamente ligada a la Metrópoli. Los precursores e iniciadores fueron, en todos los casos, peninsulares quienes trasladaron al Nuevo Mundo los conocimientos allá adquiridos. La valoración positiva de la técnica, que en parte fue motivada por esas necesidades prácticas americanas, favoreció también el principio de una concepción moderna en que se aproximarán la técnica y el saber teórico; en especial, en ciertos campos como fueron los de la medicina, el beneficio de los metales, el arte militar, la lingüística y la navegación.¹⁶

Un aspecto importante que ayudó al florecimiento de la aculturación de la Nueva España fue, el proceso de identidad cultural novohispana. Los criollos dieron muestra de una literatura científica y académica con matices de formación de la mexicanidad, que posteriormente sería heredado a los mestizos e indígenas. También motivó a la apreciación de lo novohispano por parte de los criollos por el rechazo que hicieron los españoles peninsulares a éstos. Rodríguez Sala de Gomezgil¹⁷ apunta que en este proceso estuvieron presentes los siguientes factores:

- a) Las modalidades que la formación superior adquiere en la sociedad novohispana, en especial por la preocupación de la evangelización y educación de indígenas, mestizos y criollos.
- b) La influencia del rico pasado y presente indígena.
- c) La sorprendente y distinta naturaleza con su variedad de manifestaciones en sus productos naturales, flora, fauna y riqueza minera así como el clima y geografía de su extenso territorio con las consecuencias sociales y económicas que llevó consigo el aprovechamiento y explotación de toda esa naturaleza.
- d) La integración de los religiosos con los indígenas.

Lo anterior es lo que a grosso modo motivó en cierta forma el quehacer intelectual novohispano en el siglo XVI. Solo se menciona esto brevemente, ya que para profundizar más al respecto se tendría que realizar otro trabajo.

2.2 Libros y bibliotecas en la Nueva España

Durante la época colonial, México fue, de cierta manera un lugar privilegiado en el aspecto bibliográfico. Poseyó la primera imprenta del Nuevo Mundo. Además desde fecha temprana empezó a recibir libros provenientes de distintos puntos de Europa, aumentando paulatinamente la importación de libros en los siguientes siglos. Al principio fueron los españoles peninsulares los que traían libros sobre todo de España y posteriormente fueron los criollos los que empezaron a juntar y a coleccionar libros de otros países. La mayor parte de los libros científicos que llegaron a México en los siglos XVI y XVII provenían de países como Francia, Bélgica, Austria, Portugal, Italia y por supuesto de España. Esto en cierto modo elevaba el saber en todos los ámbitos de la cultura novohispana. Por medio de ellos es posible comprender la complejidad del proceso que permitió la recepción y aceptación de la ciencia moderna en México, sobre todo en el segundo tercio del siglo XVII.

Aquí se percibe con claridad el desfase entre las obras médicas y botánicas y de las ciencias exactas, aquellas ancladas fuertemente en la tradición, éstas ya abiertas a la modernidad. Así la medicina está representada por Galeno, Avicena, Laguna, Paré, Vallés, Gesner y

¹⁵ *Ibidem*, p. 24.

¹⁶ *Ibidem*, p. 24.

¹⁷ *Ibidem*, p. 25.

Fracastoro; la botánica por Fuchs Mattioli. Entre los textos sobre América destaca la *Historia natural y moral de las indias* de José de Acosta. Pero son las matemáticas y la astronomía las mejor y más ampliamente representadas,¹⁸ pues ahí aparecen tanto Arquímedes, Euclides y Apolonio entre los matemáticos antiguos, como Fineb, Pedro Nuñez, Cardano entre los modernos; mientras que la astronomía tiene como representantes a Peurbach, Regiomontano, Erasmo Reinhold, Copérnico, Stöffler y Pedro Apiano. La física estuvo representada por Besson Benedetti. Menudearon también los tratados monográficos acerca de temas como la cuadratura del círculo, los meteoros, los cometas, el uso del astrolabio y la construcción de relojes, así como diversas tablas astronómicas. La ciencia militar aparece con el *De re militari* de Valturrius. Existen además, diversos escritos sobre arquitectura, agricultura y ganadería.¹⁹ Estos hechos explican en buena parte la naturaleza de la ciencia que se cultivó en México.

Muchos autores de primera fila pudieron ser leídos en sus textos originales, tales como Galileo, Descartes o los algebristas del siglo XVI. Otros fueron conocidos a través de comentaristas y glosadores, por ejemplo Newton. Lo anterior hizo que los científicos novohispanos no carecieran de información acerca de los libros de la ciencia europea. Tampoco la represión libresca del Santo Oficio fue un obstáculo para suprimir la lectura de libros como los tratados matemáticos de Napier sobre los logaritmos o los de Física de Simón Stevin y Güericke, todos ellos publicados en países sobre los que la censura inquisitorial española ejercía la máxima vigilancia; esto sucedía ya que la inquisición, al perseguir libros prohibidos que le eran conocidos, al mismo tiempo ya estaban circulando otros libros que aún no eran de su conocimiento. Otra forma de circular libros prohibidos era de contrabando. De esta forma se fueron formando varias bibliotecas en la Nueva España.²⁰

Las bibliotecas más ricas de la Nueva España fueron las pertenecientes a las órdenes religiosas ya que los religiosos no despertaban sospecha alguna a la inquisición. Desde su fundación en México a raíz de la conquista, comenzaron a crearse bibliotecas al tiempo que se creaban los primeros colegios por los padres franciscanos, los dominicos, los agustinos, los jesuitas, los carmelitas descalzos y los mercedarios por la labor evangelizadora que tenían a cargo. Esta labor comenzó inmediatamente después de la conquista, siendo los religiosos de estas órdenes los difusores del conocimiento humano existente en Europa en el siglo XVI.²¹ Los miembros de estas órdenes eran gentes multidisciplinarias y esto era por que a veces hacían tareas de exploración, de medicina, de astronomía, de historia, de lingüística, etc., en las tierras del Nuevo Mundo, obligándolos a adquirir muchos conocimientos. Por eso en las bibliotecas de éstas órdenes religiosas de la Nueva España no solamente tenían libros en disciplinas teológicas sino también históricas y científicas, siendo éstas a veces más completas que la biblioteca de la real Universidad, aparte de sus colegios en donde impartían clases de buen nivel.²² Un ejemplo de lo anterior es el colegio agustiniano de San Pablo en el que fray Alonso de la Veracruz fundó su biblioteca que llegó a poseer no sólo varios libros científicos sino también una buena colección de instrumentos y mapas. En las obras de fray Diego de la Veracruz reflejan los temas científicos que abordó, en particular la *Resolutio dialéctica* y la *Physica Speculatio*. Apoyado en los autores clásicos y medievales tales como Aristóteles, Galeno, Ptolomeo, Avicena, Campano y otros más, expuso su concepción enciclopédica de las ciencias, su *Arbor Universalium* del conocimiento, tomado de Aristóteles y que iba desde los fundamentos del conocimiento científico y la naturaleza de las matemáticas, en la que trató largamente de la interrelación entre aritmética, la

¹⁸ Trabulse Atalá, (1994), *op. cit.*, p. 57.

¹⁹ *Ibidem*, p. 57.

²⁰ *Ibidem*, p. 16.

²¹ *Ibidem*, p. 27.

²² *Ibidem*, p. 28.

geometría y la música, hasta la física, la astronomía, la botánica, la meteorología y la medicina de su época.²³

Otra orden religiosa en la que penetró la ciencia en México fue la de los jesuitas, la cual estuvo dedicada a la investigación y la docencia; los mercedarios también están en este rubro. En las dos bibliotecas más importantes de la Compañía de Jesús en la Nueva España (la de San Idelfonso y la de Tepotzotlán) existieron desde el siglo XVII, obras de ciencia, algunas de autores avanzados o comentarios y estudios de la época, hechos casi siempre por jesuitas; en sus estudios se encontraban elementos de matemáticas, astronomía y cartografía principalmente.

En las bibliotecas particulares existían en número importante los temas científicos. Desde el siglo XVI existieron médicos y astrónomos que formaron colecciones de importancia. El doctor Juan de la Fuente, una de las figuras de importancia de la medicina novohispana del siglo XVI formó una de dichas bibliotecas.²⁴

Alfonso Nuñez formó una biblioteca a principios del siglo XVII que poseía 72 libros de los cuales 57 trataban de temas médicos. Otros personajes que formaron una biblioteca particular fueron Juan de Luyando y Juan Pérez de Aparicio (?- 1648). Entre los libros de la biblioteca de Luyando se encontraba la *Suma y recopilación de cirugía* de López de Hinojosos, en el cual se describe algunas propiedades de algunas yerbas de la Nueva España y una *Cosmografía de los tiempos* de Jerónimo de Chávez (1523-1574). Del contenido de la biblioteca de Pérez de Aparicio no se sabe de dato alguno.

En 1655, Melchor Pérez de Soto, maestro mayor de las obras de la catedral de la ciudad de México, fue enjuiciado por el Tribunal del Santo Oficio por practicar la astrología. Como parte del proceso que se le siguió, se consignó su biblioteca, constituida por más de 1500 obras. La lista de esa biblioteca se conoce y aunque la información es muy deficiente en cuanto a los títulos y los autores, se observa un considerable número de obras de índole científica. Entre ellas hay 541 relativas a la astronomía, la física, las matemáticas y la química.²⁵

Entre el número de obras mencionado hay ejemplares de la *Esfera* de Sacrobosco, de la *Cosmografía* de Apiano, ejemplares de la *Geometría* de Euclides impresos en años y ciudades diferentes. Hay también obras de Arquímedes sobre matemáticas e hidráulica, de Aristarco sobre astronomía, especialmente la que trata sobre la determinación clásica hecha por ese autor de la distancia al sol. También se encuentran tratados de matemáticas debidos a Tartaglia, estudios de magnetismo por Gilbert, las obras de metalurgia de Agrícola. También se halló una obra de *Revolutionibus orbium celestium*, así como el *Epitome astronomiae copernicae* debido a Kepler.²⁶ La siguiente lista es una pequeña parte del total de los libros referentes a las matemáticas encontrados en la biblioteca de Pérez de Soto.²⁷

Obras comentadas por Cristóbal Clavio (1538-1612)

Sobre los libros de Euclides

De álgebra.

De arismetica

Obras hechas por Cristóbal Clavio

²³ *Ibidem*, p. 31.

²⁴ *Ibidem*, p. 38.

²⁵ Moreno Corral, Marco, "Los primeros libros científicos que llegaron a la Nueva España", contenido en: Juan José Saldaña, (ed), *Memorias del primer congreso mexicano de historia de la ciencia y la tecnología*, México, p. 588

²⁶ *Ibidem*, p. 589.

²⁷ Moreno Corral, Marco, "Libros de matemáticas llegados a América durante los siglos XVI-XVII", *Mathesis*, vol 8, julio 1992, p. 338.

Ephitome arithmeticae (se trataba de la obra *Epitome arithmeticae practicae, nunc denuo ad ipso auctore recognita et aucta*, impresa en Roma 1583 y en Colonia en 1650).

Obras de Oronce Fine (1494-1555)

De jeometria

D'esfera quadratura, arismetica jumetria

Oronti Finaci de Finatis Regi mathemeticarum professoris de rebu mathematicis hactenus desideratis.

Obras de Pedro Nuñez (1492-1577)

Petri Nuñez matemática opera omia.

Libro de álgebra en aritmética y geometría.

Obras de Niccolo Fontana (Tartaglia) (1500-1559)

La primera y tercera parte del *Trattato generale di numeri et misuri.*

Obras de Regiomontanus (Johann Muller) (1436-1476)

De triangulis omnimodus libri quinque impreso en 1533. Este texto fue la primera exposición moderna de la trigonometría. Contiene la ley de los senos para triángulos planos y esféricos.

Matematicis claris liusdem Regiomontani.

Obras de Alberto Durero (1471-1528)

Albertus Durerus, en latín trata de geometría, impreso en París en 1535.

Di Alberto Durero pintore e geómetra, Maurici Bressi Graciano Politano (Napolitano) *regi et rema mathematicarum.*

Obras de Federico Comandino

De superficiarum divisionibus.

Libro tercero, *Lecciones de matemáticas.*

Autores con una sola obra

De sapiensa, Gerónimo Cardano (1501-1576). Parte de su *Artis magna*, *sirve de regulis algebra, liber unus* publicada en 1545. En ella introdujo el estudio de las cantidades imaginarias.

De quadratura circuli. Jacobus Falco.

De los quatro artes mathematicas. Pedro Ciruelo.

Le practise della due prime mathematice Pietro de Catani (Pedro Antonio Cataldi 1552-1626).

Otra fuente que arroja información sobre los libros llegados a la Nueva España, son las listas de embarque que los comerciantes estaban obligados a presentar ante los oficiales reales, tanto a la salida de España como a su arribo a Veracruz y los documentos relativos a asuntos de la competencia del Tribunal de la Inquisición²⁸. A partir de 1584 comienzan a aparecer entre los documentos consultados diversas versiones de los *Elementos* de Euclides; los *Fragments mathematicos en que se tratan cosas de geometría, astronomia y geographia y philosophia natural* (Salamanca 1568), la *Arithmetica practica y especulativa*, publicada en 1562, y el tratado de *Geometria practica y especulativa* (Alcalá de Henares, 1573), textos escritos por el andaluz Juan Pérez de Moya (?-1595). Otros libros encontrados son el *Mecanicorum* de Guido Ubaldo; la

²⁸ Moreno Corral, Marco, "El arribo de la ciencia a la Nueva España" *Ciencia y Desarrollo*, vol 112, sep/oct 1993, p. 73.

Arithmeticae et cosmographiae, de Gemma Frisius; el *Cursus quatuor mathematicarum artium liberalium* del profesor Pedro Ciruelo; la *Chronologia* de Gerardo Mercator; el *Additamentum theatri orbis terrarum*, de Abraham Otelio; el *Theatrum instrumentorum et machinarum*, de Jaques Besson; el *Ars arithmetica theoreticam et praxim scissa*, de Joann Martin Siliceo y el *Tratado subtilísimo de arismetica y geometria* de Juan de Ortega²⁹. Como puede observarse existe un número considerable de textos que abordan temas de matemáticas. Otras obras que también se encuentran registradas son: *De Re metallica* de Gregor Agricola³⁰, tratado de mineralogía, metalurgia y explotación minera; la *Cosmographia sirve descriptio universiorbis*, de Pedro Apiano; la *Opera omnia* de Pico de la Mirandola; el *Liber de centro gravitatis solidorum*, de Federico Comandino y el *Magia naturalis*, de Juan Baurista de la Porta³¹.

En 1600, en un envío de 678 libros hecho desde España y consignados para su venta en la Nueva España, aparece la obra de *Revolutionibus orbium caelestium*, de Nicolás Copérnico, en su primera edición, publicada en Nüremberg en 1543³². De acuerdo con la información disponible, este libro llegó a la Nueva España antes que el texto clásico de Ptolomeo, el *Almagestum Cl Ptolomei pheludiensis alexandrini astronomorum principis*, texto que fue publicado en latín por primera vez en Venecia 1515, sólo 28 años antes de que Copérnico sacara a la luz su principal obra. En ese mismo envío llegaron las *Prutenicae tabule coelestium motunam*, calculadas por su autor Erasmo Reinhold, de acuerdo con el modelo heliocéntrico de Copérnico³³.

Se han encontrado también obras de Arquímedes como el *In aqua libri duo*, el *De iis quae vehentur in aqua libri due* y el *De insidentibus*. En esta última obra aparece su conocido principio de hidrostática. Otra obra de Arquímedes que también aparece es el *Opera non nulla traducida* del griego al latín por Francisco Comandino y publicada en Venecia en 1558. De Aristarco de Samos aparece un trabajo sobre la distancia al Sol que en latín fue publicado como *De magnitudinibus et distantiae solis et lunae*, también traducido por Comandino. De Tartaglia se ha hallado su *Trattato de numeri et misure* publicado en 1556 y su *Nova scientia*, aparecida en 1537. En esta obra Tartaglia discutió la trayectoria seguida por los proyectiles³⁴.

Sobre óptica fueron identificados los libros *Opticae thesaurus* publicada en latín por Risnero en 1572 y la *Optica vitellionis* escrita por Vittelo, también publicada por Risnero. Aparece también la obra *Ad vitellionem paralipomena quibus astronomiae par optica traditur* escrita por Kepler y publicada en Frankfort en 1604. Estos tres libros están consignados en un inventario de libros recogidos en la ciudad de México por el Tribunal de la Inquisición en 1655³⁵.

En ese mismo inventario vuelve aparecer un texto de Copérnico, tratándose esta vez de la segunda impresión del *De revolutionibus* publicada en Basilea en 1566. También se encuentra en esa lista la obra *Epitome astronomicae copernicae*, escrita por Kepler en defensa del modelo cosmogónico de Copérnico³⁶ y fue publicada entre 1616 y 1632, así como el texto *Norae coelestium orbium theoricarum congruentes cum observationibus N. Copernici*, escrito por Antonio Maginus, impreso en Murcia en 1608. Hasta donde se ha podido establecer, éstos y los dos

²⁹ *Ibidem*, p. 74.

³⁰ Existe un ejemplar de la tercera edición de este libro en el fondo reservado de la biblioteca del Palacio de Minería que perteneció a Sigüenza.

³¹ Moreno Corral, (1993), *op. cit.*, p. 74.

³² El libro fue dedicado al papa Pablo III y se publicó con la aprobación pontificia. La tajante oposición católica se presentó pronto como resultado del Concilio de Trento, y cayó sobre los sucesores de Copérnico ocupados en difundir sus ideas. La Sagrada Congregación del Índice no condenó el *De Revolutionibus* hasta 1616. Hull, Lewis William H., *Historia y filosofía de la ciencia*, Ed. Ariel, Barcelona, 1973, p. 172.

³³ Moreno Corral, (1993), *op. cit.*, p. 75.

³⁴ *Ibidem*, p. 75.

³⁵ *Ibidem*, p. 75.

³⁶ Esta obra es citada en la *Libra Astronómica* de Sigüenza.

textos mencionados en el envío de 1600 son las primeras referencias comprobables de la presencia de las obras de Copérnico en la Nueva España.³⁷

Otros textos que han sido localizados son la *Historia plantarum et de causis plantarum*, de Paracelso en 1493; el *De magnete*, de William Gilbert, publicado en 1600; el *Geometriae excellentissimi opera*, debida a Arquímedes; el *Mensuris et ponderibus*, publicado por Gregog Agricola en 1533; el *Nouvel atlas ou theatre du monde*, salido de las prensas de Juan Jansonium en Amsterdam en 1656; la *Geographia* de Ptolomeo publicada en Basilea en 1541; la *Opera omnia sirve astronomiae instauratae progymnasmata* de Tycho Brahe, impresa en Frankfort en 1648; el *De beghinselendes waterwichts*, publicado en holandés por Simón Stevin, en Leiden en 1586, siendo un tratado de hidrostática, así como su *De stectenbovwing*, publicado en 1594 en holandés, siendo un texto técnico sobre fortificación. Se han encontrado la *Opera omnia*, de Nicolás de Cusa; la *Opuscula medica*, de Girolamo Cardano; la *Sinonima geographica* de Abraham Otelio³⁸

Finalmente se mencionará que, Carlos de Sigüenza y Góngora en su *Libra Astronómica y Filosófica*, se refiere a un gran número de autores sobre los que hace descansar su refutación a lo escrito por Kino con respecto al cometa de 1680. Esos autores, tanto clásicos como modernos (modernos en el sentido en el que se salían de la vertiente escolástica tradicional, de impugnar las autoridades venerables como Aristóteles que lo fue para la física y la astronomía, llegando incluso a la acepción mecanicista), le eran bien conocidos a través de sus principales obras científicas. Si se supone que poseyó o al menos leyó esos trabajos se especula que a fines del siglo XVII debería de haber en la Nueva España un considerable número de obras de carácter técnico y científico, sobresaliendo entre ellas obras como las de Galileo, como las tratan sobre las observaciones de las manchas solares; asimismo las obras de Tycho Brahe, Kepler y Descartes, además de gran variedad de trabajos de astrónomos como Hevelio, Ricchioli y Reinhold entre otros.³⁹

A través de las citas bibliográficas hechas por los científicos novohispanos que publicaron sus obras entre los siglos XVI y XVII, es posible tener una idea de los autores y títulos que llegaron a tener en sus manos. Tal ejemplo ya lo expresamos con Sigüenza. Esto revela el cambio en el clima intelectual que se vivió en la Nueva España al circular libros que ya indicaban que en Europa se había iniciado una batalla contra las tradiciones escolásticas que estaban apoyadas en el argumento de autoridad. Lo anterior hace que el mito de que en la Nueva España sólo se leían obras religiosas sea falso.

En las últimas décadas del siglo XVI y principios del XVII ya existía un flujo considerable de libros y para mediados del siglo XVII por lo menos ya existían cinco impresores en la ciudad de México, que también eran libreros. Los libreros tuvieron importancia en la difusión de los libros impresos en Europa ya que los ofrecían a los novohispanos estudiosos.⁴⁰ Al existir la imprenta en la Nueva España se empezaron a imprimir algunos tratados prácticos y posteriormente algunas obras de índole científica de científicos de la Nueva España a mediados del siglo XVI. Para el siguiente siglo ya había un número considerable de impresiones. En 1648 se había impreso el libro de contenido metalúrgico, médico y alquimista de Juan Correa titulado *De la cualidad manifiesta del mercurio*, y al año siguiente *Tratado de la cualidad manifiesta, y Virtud del azogue llamado comúnmente mercurio* de Fernando Becerra. En el periodo de 1652 a 1657 se habían impreso la obra *Discurso e theorológico del nuevo cometa* de fray Diego Rodríguez, la breve *Aritmética militar* de Benito Fernández Belo y la *Disertación física y anatómica de los sentidos interiores del hombre* de Jerónimo Becerra. En 1681 se había

³⁷ Moreno Corral, (1993), *op. cit.*, p. 75.

³⁸ *Ibidem*, p. 76.

³⁹ Moreno Corral, (1992), *op. cit.*, p. 589.

⁴⁰ Trabulse Atalá, (1994), *op. cit.*, p. 95.

publicado el *Discurso cometológico y relación del nuevo cometa* del criollo José de Escobar y Salmerón y Castro (?-1684) y más tarde la *Especulación astrológica física de la naturaleza de las cometas*, opúsculo de Juan Evelino. Para fines del siglo XVII se publicaba la *Libra astronómica y filosófica* de Carlos de Sigüenza y Góngora, y la obra *Principia medicinae epitome et totius humani corporis fabrica*, de Diego de Osorio y Peralta.⁴¹ Los títulos anteriores son algunos libros de varios que se dieron a las prensas; existen muchas obras que se encuentran perdidas y se sabe que existieron alguna vez porque están anotados en las listas de control de la inquisición, y por los comentarios hechos o citas en las obras que todavía existen. También se publicaron almanaques, lunarios y pronósticos del tiempo.

2.3 El auge de los estudios teóricos en ciencias exactas

En el siglo XVII se siguen escribiendo obras de índole práctica, pero también empiezan a aparecer obras de carácter un tanto teórico y esto se fue dando en las ciencias matemáticas y astronómicas. El estudio de la Naturaleza y sus fenómenos desde el punto de vista teórico ya habían sido abordados por los europeos, dándoles a dichos fenómenos desde explicaciones filosóficas y metafísicas hasta concepciones mecanicistas. En la Nueva España también se dedicaron al estudio teórico de algunas ciencias como astronomía y matemáticas, sólo que éstas no florecieron como las ciencias de índole práctica ya que éstas fueron más predominantes como la medicina, que si bien tuvo continuidad en el siglo XVII, entró en un estancamiento en la información; ésta evoluciona muy poco y no hay progreso en las fuentes que se consultan. Un autor como Diego de Osorio y Peralta que publica en 1685 su obra *Principia medicinae epitome et totius humani corporis fabrica*, utiliza las mismas obras y los mismos conceptos que los médicos de un siglo antes. Su obra se basa en los trabajos de Hipócrates, Galeno y Avicena. Esto también se dio en las demás ciencias de la vida. En las ciencias exactas por el contrario, a medida que avanzaba la ciencia en Europa, la Nueva España le seguía sin mucho atraso⁴² y esto fue por la circulación de libros europeos como ya se mencionó, agregando la existencia de impresores y gente que se interesaba en la ciencia y la técnica.

Con la creación de la cátedra universitaria de astrología y matemáticas propició la formación de agrupaciones dedicadas a la docencia y a la divulgación del saber científico, cuyos trabajos eran difundidos en el medio culto. Elías Trabulse les llama "academias o tertulias científicas".⁴³ Estas agrupaciones estaban formadas por gente interesada por ramas del saber como las matemáticas y se fue nutriendo poco a poco de sabios novohispanos, y que si bien dicha agrupación desaparecería a mediados del siglo XVII a causa de la inquisición, la gente de la exagrupación que aún sobreviviría sería suficiente para legar a las generaciones posteriores esa inclinación por el estudio de las ciencias exactas.

Si bien en el siglo XVI existieron muchas obras técnicas, sólo se sabe de un testimonio remoto al estudio de la astronomía propiamente dicha en tierras de la Nueva España. Fue fray Alonso de la Veracruz, el cual dedica en la última parte de su libro llamado *Phisica especulatio*, a comentar el texto astronómico titulado *De sphaera* debido al científico medieval Giovanni Campano de Novara. En esta parte de su obra, fray Alonso se dedica a exponer el sistema del mundo dentro de los más puros cánones del geocentrismo tolemaico.⁴⁴ Otro libro que también expone la cosmología existente en el siglo XVI es el que se titula *Historia natural y moral de las indias* de Joseph de Acosta (1540-1610). Este libro que representa a la ciencia americana de este

⁴¹ *Ibidem*, p. 104-108.

⁴² *Ibidem*, p. 43.

⁴³ *Ibidem*, p. 80.

⁴⁴ Trabulse Atalá, Elías, *Historia de la ciencia en México*, vol. I, FCE, México 1984, p. 57.

siglo, contiene datos cosmológicos e informes de tipo astronómico los cuales ilustran las creencias científicas que prevalecían en España y en la América española de dicho siglo. En él se exhibe un cosmos finito, limitado en su parte externa por la esfera de las estrellas fijas y cuyo centro es la Tierra. Los cielos son de “redonda y perfecta figura”, envuelven la Tierra central. Sobre la zona llamada “elemental”, se encuentra la Luna, que ocupa la primera esfera cristalina de las diez de la región ultralunar. Más allá de la última estaba el cielo, morada de Dios, de los ángeles y los bienaventurados. Aparte de exponer esta cosmología tan añeja, también exhibe estudios sobre el geomagnetismo.⁴⁵

En cuanto al estudio teórico de las matemáticas se encuentra una obra debida al abogado Juan Porres de Osorio. Esta obra se titula *Nuevas proposiciones geométricas* en la cual exhibe nuevos métodos para dividir la circunferencia así como para la construcción apropiada del polígono de 36 lados.⁴⁶

Desde el primer decenio del siglo XVII empiezan a florecer los primeros estudios de matemáticas y astronomía en la Nueva España, que si bien eran al principio muy tenues a mediados del siglo tendrían más solidez. Desgraciadamente no hay mucho material para exponer y lo poco que se sabe es de algunos autores novohispanos que han quedado escritos por pluma de algunos historiadores.

2.4 El estudio de las matemáticas y sus aplicaciones

Los primeros textos matemáticos del siglo XVII fueron hechos con fines prácticos, como la agrimensura, en quehaceres contables, la milicia, etc, como lo demuestran las obras siguientes: el *Arte mayor de aritmética* de Pedro Paz, que es el primer libro destinado a la aritmética que se publicó en América o el *Arte menor de aritmética y modo de formar campos* de Anastasio Reaton. En el segundo tercio del siglo XVII vivió en Puebla el criollo Alejandro Fabián, quien realizó estudios de física y matemáticas de la época y fue corresponsal de algunos científicos europeos, entre los que se encuentra el jesuita Athanasius Kircher con quien intercambió ideas acerca del magnetismo expuestas en su obra *Magneticum naturae* (Roma 1667), obra que Kircher dedicó a su corresponsal mexicano.⁴⁷

Diego García de Palacio (1471-?) escribió una obra titulada *Diálogos militares, de la formación e información de personas, instrumentos y cosas necesarias para el buen uso de la guerra*. Esta obra trata acerca de la pólvora y de los efectos propulsores provocados por su explosión, así como de las formaciones militares aplicando aritmética y de los principios matemáticos de la artillería, sobre todo el estudio del ángulo más adecuado en que debería colocarse un cañón para lograr que el proyectil alcanzara la máxima distancia posible.⁴⁸

La corona española, para conocer la situación que guardaban sus colonias en los aspectos demográfico y económico, mandó levantar una serie de padrones que revelaran ambos aspectos; dichos padrones fueron el equivalente a los actuales censos, los cuales casi no se dieron a conocer por razones estratégicas. Se conoce un trabajo de este tipo cuyo autor es Juan Díez de la Calle, cuyo título es *Memorial y noticias sacras y reales del imperio de las indias*, en la cual expuso una descripción de cinco Cancillerías Reales. Se trataba de un trabajo puramente estadístico acerca de la organización administrativa, del número de funcionarios y de la calidad y

⁴⁵ *Ibidem*, p. 59.

⁴⁶ *Ibidem*, p. 59.

⁴⁷ Trabulse Atalá, (1993), *op. cit.*, p. 78.

⁴⁸ Trabulse Atalá, (1984), *op. cit.*, p. 65.

suelos de los mismos. Así mismo establecía los nombres de las ciudades y pueblos, su posición geográfica y el número de habitantes, casas, hospitales y conventos.⁴⁹

También existieron los libros dedicados a la contabilidad, en donde daban reglas sobre el uso de la aritmética para dicho fin. Entre esos libros encontramos el de Alvaro Fuentes y de la Cerda titulado *Libro de quantas y reducciones de plata y oro*. Estos libros, cuyo contenido eran cálculos laboriosos puesto que no se contaba con métodos de cálculo eficaces y rápidos, fueron escritos por personas versadas en estos temas. De hecho en algún momento de la vida de los matemáticos novohispanos debieron colaborar con terratenientes, hacendados, mineros o alguna institución en el cálculo de los salarios, quintos reales, gastos y costos, valores en hipoteca o censo, etc. Un ejemplo de lo anterior fue Carlos de Sigüenza y Góngora que fue contador de la Real Universidad.⁵⁰

Otra área en la que se utilizó la matemática fue en la agrimensura ya que durante la época colonial existieron litigios, que han llegado hasta nosotros, originados por problemas de límites de las mercedes de tierras, por las colindancias de minas o por los derechos al usufructo del agua, ya que casi no existían peritos medidores de "tierras, minas y aguas" y para solucionar parcialmente este problema, algunos matemáticos redactaron tratados de menor o mayor complejidad al respecto. El matemático y astrónomo Gabriel López de Bonilla elaboró a mediados del siglo XVII, un *Tratado de las medidas de tierras* que tuvo alguna difusión en forma manuscrita y que probablemente influyó a Sigüenza para que escribiera una obra titulada *Reducciones de estancias de ganado a caballerías de tierra, hechas según reglas de aritmética y geometría* que como muchos de sus trabajos quedó manuscrito y que actualmente está perdido.⁵¹ Otra obra que tuvo trascendencia es la obra del jurista Joseph Sáenz de Escobar escrita a finales del siglo XVII y se tituló *Geometría práctica y mecánica dividida en tres tratados, el primero de medidas de tierra, el segundo de medidas de minas, el tercero de medida de aguas*. Esta obra es tanto un estudio de matemáticas teóricas como aplicadas. Una larga sección la destina a la geometría elemental de líneas y superficies, ángulos y figuras, elaboración de mapas orográficos, topográficos, iconográficos⁵² y al uso y manejo del instrumental de medición. Analiza también algunos problemas trigonométricos y los métodos geodésicos de triangulación. También discute dos de los más arduos problemas enfrentados por los geómetras y que resultaban del gusto de la época: la cuadratura del círculo y de la trisección de un ángulo. También estudia las medidas de longitud utilizadas en tierra y sus conversiones. Después da métodos de medición de minas, métodos de hacer mapas subterráneos, métodos de conducción de aguas, su medición y medidas utilizadas y algunos problemas de hidráulica. En un apéndice matemático, al final de toda la obra, estudia en forma teórica complicados problemas trigonométricos y geométricos.⁵³

La información anterior nos da una idea de las obras que se escribieron con relación a las matemáticas, tanto puras como aplicadas.

El siguiente personaje es un científico novohispano que tuvo un acervo de obras, cuyo análisis indica la altura en que se encontraban sus estudios en lo concerniente a las matemáticas y astronomía y es uno de los testimonios del cultivo de las ciencias en el México novohispano. Fray Diego Rodríguez es dicho personaje. Son seis sus obras que han quedado manuscritas, y de un impreso. De sus manuscritos tres versan sobre matemáticas, dos sobre astronomía y uno sobre la construcción de aparatos científicos. El impreso data de 1652 y se refiere al cometa que apareció en ese año. Los obras de Fray Diego por fortuna se han conservado y los títulos de ellas se reseñarán en el capítulo cuatro con más detalle y es uno de los pocos novohispanos que ha

⁴⁹ Trabulse Atalá, (1993), *op. cit.*, p. 25.

⁵⁰ Trabulse Atalá, (1984), *op. cit.*, p. 66.

⁵¹ *Ibidem*, p. 67.

⁵² Ciencia de las imágenes y pinturas.

⁵³ Trabulse Atalá, (1984), *op. cit.*, p. 67.

escrito más ampliamente acerca de las matemáticas. Con fray Diego comenzó la difusión de un nuevo pensamiento, distinto del antiguo prevaleciente en la época y que se ve reflejado en sus obras. Para determinar el grado de participación o contribución de fray Diego al campo de las matemáticas sería conveniente realizar estudios mucho más profundos de los que hasta hoy en día se han efectuado.

2.5 El estudio de la astronomía y sus aplicaciones

Los estudios astronómicos estuvieron ligados a la náutica desde un inicio, ya que la colonización de América, así como el comercio y el intercambio cultural estuvieron condicionados por el transporte marítimo y éste, a su vez, por la astronomía de observación, el cálculo de las longitudes en alta mar y la adecuada confección de cartas marítimas, aunado a ello la localización de las ciudades y puertos de las nuevas tierras conquistadas. Existían dificultades en la navegación al usar cartas de compás caracterizadas por representar con detalle las costas y sus distancias bajo una encrucijada de rumbos o radios de rosas náuticas, pero carentes de coordenadas geográficas.⁵⁴ Esto motivó a encontrar la longitud y latitud para así poder representar fidedignamente las coordenadas geográficas de las ciudades, pueblos y puntos en alta mar y para eso se escribieron varias obras para dicho fin. En algunas obras se profundiza el estudio de la astronomía propiamente dicha, mientras que también en algunas obras que tratan sobre astrología, también se encuentran algunos estudios y datos astronómicos serios.

Los astrónomos novohispanos también vivieron la etapa de la invención, construcción y perfeccionamiento de aparatos científicos que facilitaban la observación de los astros igualmente que sus colegas europeos.⁵⁵ La necesidad de precisión se convirtió así en una demanda cada vez mayor. Los aparatos matemáticos como compases normales, reglas graduadas, escalas de senos, tangentes y secantes, escalas de valores trigonométricos y geométricos, compases de reducción y de proporción (descrito por Galileo en 1606) utilizados con fines topográficos. En cuanto a los instrumentos astronómicos utilizados por los novohispanos se encontraban esferas armilares, ballestillas, sextantes, astrolabios, telescopios y relojes solares. Algunos de estos instrumentos fueron construidos por novohispanos eruditos como fray Diego quién construyó sextantes para medir alturas y azimutes.⁵⁶

Al principio como se mencionó líneas arriba, el estudio de la astronomía fue con fines prácticos aplicados al arte marítimo. Entre las obras sobre náutica y astronomía se encuentra la de Diego García de Palacio titulada *Instrucción náutica para navegar*. En ella dio muestras de conocimientos astronómicos, aunque realizó sus cálculos de conjunciones y del ciclo solar de acuerdo con las antiguas tablas y efemérides astronómicas. También hizo, largas disertaciones sobre la esfera, las mareas y sus efectos en la navegación. Otra obra que también se escribió para la navegación, pero que tiene nociones de estudios astronómicos es *Arte de navegar* de Juan Gallo de Miranda. En esta obra, Gallo de Miranda propuso para resolver el aparente insoluble problema de determinar la longitud en alta mar, los cálculos basados en los eclipses de Sol y Luna.⁵⁷

Existe una obra que si bien no aporta novedad alguna, no deja de tener importancia en cuanto a que es una obra que trató de iniciarse más concretamente a la astronomía. Su autor es más conocido por sus trabajos de impresor y de ingeniero en el desagüe del Valle de México que como científico. Este personaje al que se hace alusión es Enrico Martínez y su obra el *Reportorio*

⁵⁴ Vilchis, Jaime, *Ciencia entre Viejo y Nuevo Mundo*, Artes gráficas Clavileño, Madrid, 1984, p. 54.

⁵⁵ Trabulse Atalá, (1994), *op. cit.*, p. 175.

⁵⁶ *Ibidem*, p. 223.

⁵⁷ Trabulse Atalá, (1984), *op. cit.*, p. 58.

de los tiempos, y historia desta Nueva España.⁵⁸ Enrico Martínez ostentaba el título de Cosmógrafo Real, que entre otras cosas lo obligaba a observar los eclipses y los movimientos de los astros, a hallar longitudes y latitudes de pueblos, ciudades y puertos y no es raro que haya escrito una obra de tal índole. Esta obra trata de temas astronómicos, mezclados con ideas astrológicas, así como aspectos de climatología, meteorología e historia de la Nueva España. En el *Reportorio* agregó un trabajo hecho en 1604 en el que hizo un estudio de la magna conjunción de Júpiter y Saturno ocurrida el 24 de diciembre del año anterior.⁵⁹ Este estudio fue motivado porque se creía que dichas conjunciones planetarias tenían efectos sobre la gente. Esta creencia estaba muy en boga durante el siglo XVI y parte del XVII y no es raro encontrar a astrónomos como Kepler estudiando dichos fenómenos para tal fin. Enrico Martínez también estudió la oposición del Sol y la Luna. La primera parte del *Reportorio* es un curso introductorio de cosmografía, pues trata de las propiedades físicas del universo y lo hace tal y como se entendía durante la época. Los planetas son el siguiente tema que aborda Martínez, dando tamaños y periodos. En esta parte del *Reportorio* da una larga explicación para explicar que el Sol es mayor que la Tierra; igualmente trata de los tamaños de la Luna y los demás planetas. Después presenta a continuación una discusión sobre la reforma del calendario realizada por órdenes del papa Gregorio XIII. Discute ahí las causas astronómicas que obligaron a corregirlo, tratando con amplitud el fenómeno de la precesión de los equinoccios explicando cómo calcular las fechas en que estos fenómenos ocurren cada año.⁶⁰

En la siguiente sección presenta los lunarios para los años de 1606 a 1620. Este tipo de publicaciones que fueron comunes en los dominios españoles, contenían efemérides relativas a nuestro satélite natural, así como las posiciones que éste iba ocupando en las distintas constelaciones zodiacales al momento de cada una de sus fases.⁶¹

La sección astronómica del *Reportorio* termina con un canon de eclipses solares y lunares. Aunque las efemérides de estos acontecimientos también fueron calculadas por Enrico Martínez para el meridiano de la ciudad de México, no se limitó a listar los eclipses que serían visibles desde la Nueva España, sino que incluyó todos los que ocurrirían entre 1606 y 1615. Antes de entrar propiamente al canon, discute los mecanismos que originan los eclipses y enseña como utilizarlos para determinar la longitud geográfica del lugar de observación. Este canon de eclipses fue el primero que apareció en el continente americano. En total el *Reportorio* no reporta novedad científica alguna, pero si tiene el mérito de hacer llegar a los lectores de la América Septentrional aspectos básicos del conocimiento astronómico de la época.⁶²

Fray Diego Rodríguez también incursionó en los estudios astronómicos siendo un poco menos sus escritos en esta área. Su principal obra sobre estos estudios es la *Doctrina general repartida por capítulos de los eclipses de Sol y Luna*. Este texto contiene estudios de astronomía de observación, así como sus reflexiones sobre el sistema del mundo. Otros textos astronómicos son: *Modo de calcular cualquier eclipse de Sol y Luna* y el *Discurso ethereológico*; el primero proporciona un método de cálculo específico y el segundo da su visión de la forma del cosmos.⁶³

La doctrina se divide en ocho capítulos que abarcan los siguientes: astronomía teórica, astronomía práctica y cosmología. En la primera parte estudia las posiciones de los astros, la teoría de los eclipses, el cálculo de paralajes y el uso de las tablas de Kepler de logaritmos en la medición del "ángulo de la elíptica que causa con la vertical". En la segunda aparecen diversas tablas astronómicas y numerosos ejemplos de cálculos de eclipses; en la tercera parte y a lo largo

⁵⁸ Moreno Corral, Marco, "La astronomía en el México del siglo XVII", *Ciencias*, abril-junio 1999, p. 52.

⁵⁹ *Ibidem*, p. 53.

⁶⁰ *Ibidem*, p. 53.

⁶¹ *Ibidem*, p. 54.

⁶² *Ibidem*, p. 55.

⁶³ Trabluse Atalá, (1994), *op. cit.*, p. 189.

de dos capítulos aborda el tema del sistema del mundo. Dichos capítulos se titulan: "doctrina de las tablas puestas de la longitud de los tres planetas superiores Júpiter, Saturno y Marte según cálculo de Copérnico".⁶⁴

La doctrina general contiene además efemérides sobre los movimientos de la Luna que abarcan del año de 1500 al 1700. Incluye tablas astronómicas calculadas con base en la posición geográfica de la ciudad de México. Además de los eclipses, la *Doctrina* enseña cómo observar los cometas y la manera de calcular su paralaje. Este tema fue ampliamente tratado por él en su *Discurso ethereológico* que es el antecedente inmediato de la *Libra astronómica* de Sigüenza y Góngora.⁶⁵

La astronomía era para fray Diego una ciencia de varios aspectos. En el *Tractatus* se refiere a ella de la siguiente manera:

"Es el arte de conocer los movimientos del mundo, o sea los movimientos reales o aparentes de los cuerpos celestes; de sus órbitas excéntricas, epiciclos, apogeos y perigeos. Estudia además la figura de los astros, su iluminación, distancias de la Tierra, etc. Estudia también las estrellas, tanto las errantes como las fijas, la salida y ocaso del Sol y el paralaje de la Luna, y de los diversos aspectos que presenta. Trata de los radios orbitales, de las órbitas mismas y de los círculos máximos descritos. Su método de operar es primero observando y luego demostrando".⁶⁶

Resumiendo según fray Diego: "busca las elevaciones y diferencias y distancias de los astros, estudia su comportamiento y posteriormente los astronómicos teoremas deduce".⁶⁷ Es decir, esta ciencia tiene dos aspectos relacionados: la astronomía de observación y la teoría sobre el sistema del mundo.

Fray Diego también realizó observaciones astronómicas siendo una de ellas la observación del eclipse de Luna que ocurrió el 20 de noviembre de 1638, el cual también fue observado por su colega Gabriel López de Bonilla. Fray Diego incluyó las mediciones astronómicas de dicho eclipse en la última parte de su obra *Tratado del modo de fabricar relojes* en donde insertó un esquema del fenómeno.⁶⁸ El método empleado en esta observación fue el de la diferencia de meridianos y fray Diego utilizó para ello las *Efemérides astronómicas* de Antonio Magini, las *Tablas rodolfianas* de Kepler, las *Efemérides* de Lansberg, la *Astronomía dánica* de Longomontano, las *Tablas* de David Orgiano, no faltando también el uso de tablas hechas por él.⁶⁹

En lo que se refiere a las teorías que se escribieron en torno al sistema del mundo, fray Diego Rodríguez dedico tiempo para estudiarlas dándose cuenta de las distintas percepciones del universo que se proponían. Gente que ha estudiado sus escritos ha encontrado que se ha adherido en forma discreta al sistema heliocéntrico. Según Trabulse, fray Diego llegó a impugnar la autoridad de Aristóteles.⁷⁰ En los escritos que se han encontrado de fray Diego indican que conocía las observaciones de Galileo sobre los satélites de Júpiter y las teorías de Kepler sobre la naturaleza ultralunar de los cometas, lo que le permitió afirmar que los espacios ultralunares no eran como los había imaginado Aristóteles y esto se demostraba por los movimientos de los satélites de Júpiter, los cuales se habían estudiado en Europa en la misma época. Su teoría sobre los cometas expuesta en su obra *Discurso ethereológico* exhibe ciertos puntos interesantes sobre

⁶⁴ *Ibidem*, p. 190.

⁶⁵ *Ibidem*, p. 191.

⁶⁶ *Ibidem*, p. 191.

⁶⁷ *Ibidem*, p. 192.

⁶⁸ *Ibidem*, p. 197.

⁶⁹ *Ibidem*, p. 198.

⁷⁰ *Ibidem*, p. 206.

la naturaleza de estos fenómenos ya que fray Diego no creía en la teoría de las “exhalaciones secas” de los cometas llegando a decir que eran como cualquier astro, además de que ellos no eran los responsables de las calamidades que acontecían en la Tierra. También llegó a afirmar que la órbita de estos astros era circular contrariamente a lo que decía Kepler quien las consideraba rectilíneas.⁷¹

Otra faceta de los estudios que realizó fray Diego es en lo que se refiere a lo que él interpretaba como lo que hoy conocemos como gravedad. Para él era una virtud magnética que tenía la Tierra; al hablar de los cometas alude a la fuerza que los mantiene fijos a una órbita determinada. En el *Discurso ethereológico* escribe lo siguiente respecto a lo anterior:

“Hay algunas virtudes en el cielo tan fuertes y eficaces (y más si son cercanas al cometa, y de su propia naturaleza) que llaman al cometa aquella parte como la piedra imán al acero”⁷²

Esta hipótesis la pensó en torno a la obra *De magnete* de William Gilbert.

En los dos últimos capítulos de la *Doctrina general*, fray Diego desarrolló su creencia heliocentrista al fijar a la Tierra en la tercera órbita alrededor del Sol y comparó los sistemas ptolemaico y copernicano y decide por este último pues, según él, era el que mejor se apega a la realidad.⁷³

Como se puede apreciar los estudios sobre astronomía práctica fueron acompañados de estudios de astronomía teórica y en donde empezó a penetrar el nuevo pensamiento astronómico fue con fray Diego. A partir de él se empezaría el estudio de la astronomía racional.

Los cálculos astronómicos para determinar las diferentes latitudes y longitudes de la Tierra no fueron monopolio de los astrónomos europeos. La América hispana de los siglos XVI, XVII y el XVIII tienen en su haber una nómina de científicos preocupados como sus colegas europeos en determinar la posición geográfica correcta del territorio que habitaban. Los trabajos a este respecto los llevaron a cabo en un principio los cartógrafos de la casa de Contratación. Posteriormente fueron los mismos criollos novohispanos los que se ocuparon del problema, y en particular para determinar la longitud de la ciudad de México. Esto era importante, ya que la capital era el paso intermedio del tránsito de las expediciones españolas entre Europa y Filipinas y era necesario tener bien ubicada la capital en los mapas.

Los españoles habían calculado la longitud de la ciudad de México, con respecto al meridiano de Toledo, por medio de la observación de dos eclipses de Luna. El resultado que se obtuvo fue impreciso pues fijaba la longitud en 8 horas 2 minutos 34 segundos.⁷⁴ Posteriormente Enrico Martínez fijó la capital en 6 horas 56 minutos 18 segundos demasiado desplazada al occidente; en 1618 Diego de Cisneros la determinó en 5 horas 37 minutos que al compararla con la anterior guardaba una diferencia considerable. En 1638 y 1641 fray Diego Rodríguez y el médico Gabriel López de Bonilla calcularon, apoyados en un eclipse de Luna, la longitud del valle de México obteniendo una determinación de 6 horas 45 minutos 50 segundos, que dista de la actual por ocho décimas de segundo. A finales del siglo XVII, don Carlos de Sigüenza y Góngora realizó varias observaciones astronómicas realizadas que le permitieron calcular la longitud del valle de México al que fijó con la posición de 6 horas 48 minutos 5 segundos, ligeramente más imprecisa que la del padre Rodríguez.⁷⁵ Lo anterior nos da una idea de la utilidad práctica de la astronomía en el siglo XVII en la Nueva España, dando una proliferación

⁷¹ *Ibidem*, p. 207 y 208.

⁷² *Ibidem*, p. 210.

⁷³ *Ibidem*, p. 210.

⁷⁴ Trábulse Atalá, (1993), *op. cit.*, p. 31.

⁷⁵ *Ibidem*, p. 31.

de obras sobre las observaciones astronómicas realizadas con fines geográficos, creando de esta manera otra actividad eminentemente práctica: la cartografía.⁷⁶

La ciencia moderna adquirió en la Nueva España un carácter pragmático. Por ejemplo la astronomía observacional se utilizó en la geografía para obtener mayor precisión en la longitud y latitud de alguna ciudad (como se vio líneas arriba el caso de la ciudad de México); el surgimiento de problemas urbanos y técnicos exigieron a los novohispanos que emplearan sus conocimientos en ciencias exactas para resolverlos como se vio en el caso de las matemáticas para resolver problemas agrarios, contables, de medidas, etc.

2.6 La forma de pensamiento en la Nueva España

Considerando el lapso de 1521-1580 como el periodo de aclimatación de la ciencia europea en la Nueva España, caracterizado por los estudios botánicos, zoológicos, médicos etnográficos y metalúrgicos, las sistematizaciones que se intentan en esos campos caen plenamente dentro de los esquemas taxonómicos de la tradición organicista y aristotélica, ya que los primeros científicos de este período se alimentaron básicamente del saber clásico y de los comentaristas y glosadores de la época medieval. La difusión de la ciencia antigua durante ese lapso de tiempo se dio a través de la impresión de textos clásicos anotados y comentados. Desde 1580 hasta aproximadamente 1630 cambió levemente la tónica con la aparición de textos que apuntaban teorías astrológicas y alquimistas de marcado corte hermético, así como de obras elaboradas de acuerdo con las teorías mecanicistas del siglo XVII. Ninguna de estas corrientes logró, sin embargo, sobrepasar en número e importancia a los textos de influencia aristotélico-galénica.

Desde 1630 a 1680 se observa un cambio substancial en los intereses que coincide con una mayor difusión de las teorías herméticas y en mayor grado de las mecanicistas, ambas estimuladas por un interés por los estudios astronómicos y matemáticos. El hermetismo cuyo conjunto de doctrinas filosófico religiosas que abarcaba la alquimia, magia, astrología para descubrir los misterios del cosmos y la armonía del hombre respecto a los fenómenos celestes se hizo muy popular ya que además de la interpretación mágica, intervenía el auxilio de las matemáticas, mientras que en el mecanicismo como ya hemos visto, se encuentra provisto de relaciones dinámicas perfectamente cuantificables. Sin embargo se hace ver que en lo que toca al siglo XVII es difícil deslindar las corrientes hermetismo y mecanicismo porque vivieron mucho tiempo entrelazando sus conceptos y enhebrando sus tesis una sobre la otra. Sólo el siglo XVIII optará por la solución directa que le brindaba el mecanicismo en la explicación del mundo físico.

Desde el punto de vista de la historia de la ciencia, el hermetismo europeo de los siglos XVI y XVII cubrió con sus producciones el amplio espectro que va desde la cosmología heliocentrista y la astronomía de observación hasta la alquimia y la astrología; de la ciencia de los números y el álgebra superior a la criptografía y el arte de la memoria a la emblemática. Se comprende entonces por qué su influencia en la ciencia novohispana del siglo XVII fue tan grande. Esto lo podemos observar en fray Diego quién, como los científicos de su época fue adepto a las corrientes herméticas y era, como Kepler, un estudioso de las ciencias matemáticas, ya que ellas eran la única vía de acceso según ellos a la comprensión verdadera del cosmos. Estos científicos buscaban descifrar el lenguaje matemático del universo y las armonías mágicas y ocultas que ahí se encontraban.⁷⁷

⁷⁶ Para cuestiones prácticas, la longitud se manejaba en horas y para cuestiones de cálculos astronómicos se manejaba en grados.

⁷⁷ Trabulse Atalá, Elías, *La ciencia perdida*, Fondo de Cultura Económica, México, 1985, p. 11.

La ciencia de los números como heredera de la vieja tradición hermetico-pitagórica intentaba determinar el papel de los números en la aprehensión de la idea de belleza basada en una armonía o en un equilibrio. En el siglo XVII Leibniz, inmerso todavía en esta tradición, afirmaba que la música era un cálculo efectuado por el espíritu sin percatarse de que estaba contando, es decir que la música era una relación numeral "sentida". Con ello retomaba la idea agustiniana y neoplatónica que decía que la esencia del arte estaba en el número. Y aquí en la Nueva España, fray Diego sostenía que la música estaba formada de "series numeradas concretas". En suma, desde el punto de vista de estos dos hombres, la armonía entre macrocosmos y microcosmos era evidente e incluso aritméticamente demostrable, pues los números eran realidades y no meras abstracciones.⁷⁸ Lo anterior nos pone de manifiesto que las nuevas teorías se difundieron a través de la estructura conceptual del hermetismo y del neoplatonismo renacentista.

A lo anterior se le añade un elemento de importancia: la aparición de un componente ideológico que se puede denominar "la conciencia criolla de patria",⁷⁹ es decir, la idea ampliamente difundida entre los científicos nacidos en la Nueva España de que vivían en un lugar privilegiado por Dios y por la naturaleza, y cuyos habitantes eran más capaces intelectualmente que los que habían nacido en el Viejo Mundo. Esta idea, que aparece ya en la segunda mitad del siglo XVII, se consolida en los primeros decenios del siguiente; lo que en el campo de las ciencias condujo a una paulatina desvinculación con la Metrópoli y la búsqueda de una ciencia autónoma, propia, que pusiera de manifiesto las aptitudes de los hombre de ciencia novohispanos.⁸⁰

El estudio que se hace de la figura de Sigüenza como hombre de ciencia intenta vincularlo a la situación histórico-científica que acabamos de describir a grosso modo ya que su labor puede resultar hasta cierto punto sin explicación si no se toma en cuenta los antecedentes. Al estudiar los componentes de la tradición científica que llegó hasta él, se vio un hecho de interés y es el de la apertura a la modernidad en el segundo tercio del siglo XVII. La colonia avanzó en forma autónoma tanto o más que su Metrópoli. Sean cuales fueren las características del siglo XVII científico español, es obvio que las pautas seguidas por su colonia no fueron necesariamente las mismas. Su trayectoria cultural, que la llevó a recibir, aceptar y difundir muchos de los elementos de la modernidad científica antes que lo fueran en España, debe ser estudiada dentro de un marco de desarrollo científico autónomo propio y, en muchos aspectos, original. A pesar de los puntos de contacto que sin duda existen, es evidente que la Nueva España científica del siglo XVII no fue (como en otros aspectos de la cultura) un simple reflejo de la Metrópoli. Por extraño que pueda parecer, la colonia resultó ser un suelo más propicio y tolerante que España para la recepción de las nuevas ideas, y ello explica su desenvolvimiento singular.⁸¹

⁷⁸ *Ibidem*, p. 53.

⁷⁹ Trabulsee Atalá, (1994), *op. cit.*, p. 65.

⁸⁰ *Ibidem*, p. 65.

⁸¹ López Piñero, José, *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI-XVII*, Ed. Labor, Madrid, 1979, p. 444.

3 BIOGRAFÍA DE CARLOS DE SIGÜENZA Y GÓNGORA

3.1 Su vida y preparación académica

Este erudito fue el segundo hijo y primer varón de un ilustre español llamado Carlos de Sigüenza y Benito, oriundo de Madrid. Don Carlos quien fue un hombre muy longevo, llegó entonces a la señorial cabecera del reino en ultramar donde se convirtió en servidor público a las órdenes de diferentes virreyes por 50 años. También se desempeñó como contador y escribano real e igualmente como secretario en los ramos de gobernación y guerra. Su madre era una dama sevillana de nombre Dionisia Suárez de Figueroa y Góngora, descendiente del distinguido Luis de Góngora y Argote, famoso poeta de Córdoba y gloria nacional española. Don Carlos nació en la capital de la Nueva España el 20 de agosto de 1645, y murió en ella en el albor del siglo XVII¹. Fue filósofo, poeta, matemático, astrónomo, anticuario, literato, lingüista, maestro universitario, astrólogo e historiador que le ha valido los títulos de erudito, polígrafo ya que sus intereses desbordaron a menudo los temas científicos para incursionar en áreas como la poesía y la historia, además de otras actividades que desempeñó en su vida intelectual.²

Los estudios primarios los hizo bajo la estricta dirección de su padre, quien había sido maestro del príncipe Baltazar Carlos, hijo del rey Felipe IV. El se encargó de impartirle los principios para una excelente preparación en las matemáticas lo cual fue aprovechado profundamente gracias al talento natural e inquisitivo de su hijo.³

La fama que los jesuitas habían adquirido en educación y formación intelectual⁴ atrajo a don Carlos para continuar sus estudios. La compañía de Jesús se convirtió en la fuerza más

¹ Mayer, Alicia, *Dos americanos, dos pensamientos: Carlos de Sigüenza y Góngora y Cotton Mather*, México, Instituto de Investigaciones Históricas, UNAM, 1998, p. 73.

² *Ibidem*, p. 98.

³ *Ibidem*, p. 73.

⁴ J. L. Aranguren dice de los jesuitas que suscitaron un magno acontecimiento: "el advenimiento del hombre moderno y de la conciencia de sí mismo, el espíritu de libertad y responsabilidad personal" fueron modernos porque no regresaron a los postulados de la edad media; tienen continuidad con el Renacimiento aunque se oponen a la Reforma protestante con elementos nuevos. Además la novedad radica en el "examen íntimo de la conciencia" con el que el hombre se juzga así mismo. Los jesuitas no obstante su dedicación por la abstracción dogmática los misterios de la fe y las disposiciones de la iglesia también se destacaron en diferentes ramas de las ciencias exactas, las matemáticas y las enseñanzas clásicas. Aranguren, José Luis, "Catolicismo y protestantismo como forma de existencia", *Revista de occidente*, 1952, p. 56.

renovadora y activa de la evangelización en el siglo XVII. Su férrea disciplina, aunada a su dinámico espíritu proselitista que se volcó en la educación y en la catéquesis, rindió frutos inmediatos. Unirse a uno de sus colegios pudo significar la mejor opción para un estudiante afanoso, por sus métodos modernos y avanzadas técnicas pedagógicas.⁵ Esta preparación fue determinante en su carrera y sus hábitos de pensamiento. Así desde muy joven, Sigüenza sintió la inquietud hacia el sacerdocio y entró a formar parte de la orden jesuita el 17 de octubre 1660; tomó sus votos simples el 15 de agosto 1662 en el convento de Tepotzotlán. Cursó también estudios en el colegio del Espíritu Santo en Puebla.⁶

Bajo la sabia dirección de los jesuitas comenzó a consolidar su educación. Durante siete años estudió en Puebla teología, matemáticas, cánones y filosofía. Sin embargo fue expulsado por haber infringido el reglamento interno de la orden. Trató de reingresar de nuevo a la compañía pero le fue negada su petición. A pesar de esta decepción, el sabio mexicano continuó sus buenas relaciones con la compañía y con sus maestros jesuitas; tanto así, que al morir les legó su fecunda y selecta biblioteca, sin lugar a duda una de las más ricas en América, con códices y manuscritos incunables además de sus instrumentos científicos y su colección arqueológica que había adquirido en sus recorridos por la Nueva España⁷; otra parte quedó en poder de su familia y una menor en manos de otras personas, como el médico Ignacio de Anzures. Actualmente puede reconstruirse una pequeña parte de la que era su biblioteca con los ejemplares que se han identificado de su colección por su elegante firma a manera de ex-libris, así como la fecha en que los adquirió y el precio que pagó por ellos. Entre las obras con su firma que se han podido ver se encuentran la *Geometría* de Descartes, la *Astronomía instauraciae progymnasmata* de Tycho Brahe, el *Magneticum naturae regnum* de Kircher, los *Experimenta nova* de Güericke, la *Mathesis biceps* de Juan de Caramuel, el *Sitio, naturaleza y propiedades de la Ciudad de México* de Diego de Cisneros y la *Relación universal* de Fernando Cepeda.⁸

De regreso a la capital de la Nueva España, a sus veintidós años, comenzó los cursos teológicos para el sacerdocio en la Real y Pontificia Universidad de México en 1667, estudiando derecho canónico así como los estudios de matemáticas. En 1672 concursó para ocupar la cátedra de astrología y matemáticas en la universidad que finalmente ganó, aunando a su vida intelectual la faceta de docente. En 1673 se ordenó sacerdote.

A pesar de esta gran oportunidad de desarrollarse intelectualmente, el sueldo universitario era bajo por lo que buscó otras actividades que le redituaran más ingreso económico. De esta forma, ocupó los cargos de inspector general de artillería, contador de la universidad, corrector de la inquisición. En 1699 fue nombrado corrector de libros del santo oficio, con lo que se le expedía de facto un salvo conducto para leer libros prohibidos por heterodoxia científica.⁹

En 1682 conoció a un amigo que le ayudó a sobrevivir, se trató del arzobispo Aguilar y Seijas, quien le dio autorización para officiar como diácono logrando así aumentar sus ingresos. Además, el buen religioso lo nombró capellán del Hospital del Amor de Dios, lo que le permitió trasladarse a un lugar agradable para realizar sus estudios, tener una habitación donde no pagaba renta, instalar sus instrumentos científicos y su rica biblioteca. Hasta ese lugar lo visitaban todas las personalidades ilustradas de la época. Es precisamente su posición de capellán lo que favoreció su acercamiento intelectual hacia el otro gran personaje de la época: Sor Juana Inés de la Cruz, con quien compartía el gusto por las letras y la teología. Don Carlos lleno de impresión hacia aquella musa, dedicó una parte en su *Teatro de virtudes políticas*, a lo que la poetisa

⁵ Mayer, Alicia, *op. cit.*, p. 195.

⁶ *Ibidem*, p.76.

⁷ Trabulse Atalá Elías, "La obra científica de Carlos de Sigüenza y Góngora 1667-1700", en *Actas de la sociedad mexicana de historia de la ciencia y de la tecnología*, SMHCT, vol. V, 1989, p. 227.

⁸ *Ibidem*, p. 228.

⁹ *Ibidem*, p. 228.

respondió en agradecimiento con su "Dulce canoro cisne mexicano". El compañerismo y la admiración fueron mutuos y prevalecieron hasta la muerte de Sor Juana.¹⁰

La fama del talento y conocimiento de Sigüenza traspasaron prontamente los ámbitos de la colonia y llegaron a la Metrópoli hispana, en donde el rey Carlos segundo de España lo distinguió en 1680 con el nombramiento de Primer cosmógrafo regio y catedrático de matemáticas de la Real y Pontificia Universidad de México. Esta designación ha sido definida como "astrónomo, agrimensor y cartógrafo".¹¹

Sin embargo el renombre de este sabio mexicano se extendió más allá de las fronteras hispanas y alcanzó otros lugares de Europa; así llegó a conocimiento del Rey Luis XVI de Francia la fama del mexicano, aconsejado por sus ilustres geógrafos y sabios, invitó a Sigüenza a formar parte de su ilustrada corte para que colaborase en la resolución de los problemas cartográficos, astronómicos y de la física, ofreciéndole además un puesto bien remunerado entre los sabios de la Real Academia de Ciencias de París y que don Carlos rechazó.¹²

Su gran acervo de conocimientos sobre tan diversos temas y su buena disposición de prestar servicios hacían que su opinión fuera consultada por personas de muy distintos estilos de vida. Poco importaba que el problema fuese técnico, de ingeniería, de matemáticas o una intrincada cuestión de historia, etimología o una duda sobre algún punto de vista esotérico, de teología y filosofía. Por esta erudición que tenía Sigüenza se le consultó para resolver problemas técnicos, científicos y cuestiones relacionadas con los asuntos del Estado y en acontecimientos cívicos, como la inauguración de edificios públicos, la bienvenida a virreyes y la celebración de fiestas eclesiásticas y seculares. Lo anterior nos dice que Sigüenza participó en algunas actividades de la corona de la Nueva España, relatando los sucesos de importancia que se suscitaron en ella.

Estudiosos de los diversos tipos de pensamiento entraron en contacto con don Carlos, quién sostuvo correspondencia con hombres tan notables como Kircher de Roma; el obispo Juan de Caramuel, de Milán; Pedro Cabina de Italia; Cassini, jefe del observatorio de París; Flamstead, el astrónomo de Londres; Zaragoza, Petrey, Cruzada de Cruz y Mesa, principal piloto de la casa de contratación en España; Juan de Ascaray, de la Universidad de Lima, y también el Jesuita Pedro Van Hamme, que pasó cuatro días en la capital de la Nueva España en 1687, con don Carlos comunicándole las observaciones efectuadas en Europa sobre un reciente cometa.¹³

Por otra parte no fueron pocos sus amigos y discípulos, beneficiarios todos ellos de sus conocimientos y su generosidad. Los historiadores y cronistas Antonio Robles, Francisco de Florencia, Agustín de Ventancurt, y Juan Mateo Mange le son deudores por la documentación histórica que Sigüenza les proporcionó para sus obras hagiográficas¹⁴ o históricas. En cuanto a sus discípulos, dos de ellos llegaron a ser hábiles astrónomos: el cubano Marco Antonio Gamboa y Riaño y el novohispano Juan Enríquez Barreto.¹⁵

Otro personaje que también tuvo trato con Sigüenza fue el italiano Gemeli Carrieri quién escribió las obras *Giro del Mondo* y *Las Cosas más considerables de la Nueva España*, para las cuales Sigüenza facilitó material informativo, dándole Carrieri el crédito correspondiente.

¹⁰ Romero Contreras, A. T. "Carlos de Sigüenza y Góngora: una vida para la ciencia", *Ciencia Ergosum*, 1998, p. 195.

¹¹ Leonard Irving, Albert, *Don Carlos de Sigüenza y Góngora: un sabio mexicano del siglo XVII*, FCE, México, p. 88.

¹² Beristain de Souza, José Mariano, *Biblioteca Hispano Americana Septentrional*, Vol II, Ediciones Fuente Cultural, México, 1947, p. 343.

¹³ Leonard Irving, Albert, *op. cit.*, p. 63.

¹⁴ Hagiográfico es lo referente al estudio relacionado a la vida de los Santos.

¹⁵ Trabulsee Atalá Elías, *op. cit.*, p. 228.

Don Carlos dispuso en su testamento que se le hiciese la autopsia, con el objeto de que los médicos pudieran estudiar la índole de su enfermedad. Este hecho remarca la naturaleza de su espíritu científico, su interés por la verdad y su confianza por la evidencia empírica.¹⁶

Don Carlos participó en los certámenes conmemorativos o justas poéticas. El devoto escritor se apresuró a recordar a la Inmaculada Concepción a través de unos poemas que resultaron premiados en el aula general de la Universidad. Sigüenza manejó el estilo culterano, tan en boga en la Nueva España en aquella época, con sus frases rebuscadas, sus palabras exóticas o de su propia invención. Después fue juez calificador en el certamen literario, donde Sigüenza otorgó premios y congratulaciones a autores de otras poesías de creación barroca.¹⁷ Y es que Sigüenza fue, ante todo un hombre de ciencia, aún en el momento de escribir poesía o historia. De hecho toda su obra en general abriga conceptos científicos y fue escrita con la lógica de un estudioso de las ciencias exactas y naturales.¹⁸

Algunos manuscritos que escribió don Carlos y que no han llegado hasta nosotros son: *El fénix de occidente, sobre la presencia de Santo Tomás en América; El año mexicano sobre los antiguos indios, su origen e historia; Imperio chichimeca, ritos y costumbres de esta nación; Teatro de las grandezas de México*, que se refiere a la historia de su ciudad natal; *Historia de la Real y Pontificia Universidad; Historia de Texas; Tratado de los eclipses de Sol; Tratado de la esfera; Belerofonte matemático.*

Algunas obras que se conocen son: *Piedad heroyca de Fernando Cortés; Primavera indiana*, poema sacro-histórico; *Teatro de las virtudes políticas que constituyen a un príncipe advertidas en los monarcas antiguos del mexicano imperio*; Obras históricas: *Mercurio volante, Trofeo de la justicia española, en el castigo de la alevosía francesa; Glorias de Querétaro; Triumpho parthenico. Que en glorias de María santísima inmaculadamente concebida celebró la pontificia imperial y regia academia*; Poemas: *Oriental planeta evangélico*; Relaciones históricas: *Infatunios de Alonso Ramírez, Relación de lo sucedido a la armada de Barlovento, Alboroto y motín de México. 8 de junio de 1692; Paraiso occidental; Libra astronómica y filosófica.*

3.2 Don Carlos de Sigüenza como astrónomo, físico y geógrafo

Como se mencionó anteriormente, Sigüenza fue nombrado comógrafo de la Nueva España en 1680. A partir de ese año se puede considerar que la mayor parte de su obra científica estuvo condicionada y circunscrita a las labores que ese puesto entrañaba. La tarea distaba de ser sencilla: los cosmógrafos reales debían predecir y hacer observaciones y mediciones de los eclipses de Sol y Luna y de los movimientos planetarios, debían de calcular la longitud y latitud de los puntos más importantes del virreinato, debían de estudiar la orografía y la hidrografía del país y delinear el perfil de sus costas. También estaban obligados a levantar mapas generales y regionales y elaborar informes precisos sobre viajes de exploración, y la viabilidad de colonizar nuevas regiones y habilitar puertos y, por último, debían de supervisar las fortificaciones defensivas marítimas. Como se ve, un cosmógrafo abarcaba trabajos de ingeniería, astronomía, geodesia, agrimensura, cartografía y geografía, es decir todas las ciencias aplicadas de su época.

En lo que se refiere a su actividad como astrónomo, Sigüenza elaboró diversos tratados astronómicos para reportar sus observaciones. Con este fin escribió un *Tratado de la esfera* y un *Tratado de los eclipses de Sol*. Ambos están perdidos, pero del segundo se tiene información por

¹⁶ Mayer, Alicia, *op. cit.*, p. 195.

¹⁷ *Ibidem*, p. 85.

¹⁸ Trábulse Atalá Elías, *op. cit.*, p. 235.

la descripción que de él hizo el editor de la *Libra astronómica*, don Sebastián de Guzmán y Córdoba.¹⁹

El 23 de agosto de 1691 ocurrió un eclipse de Sol, el cual Sigüenza observó con un telescopio de cuatro lentes²⁰. Observaciones al firmamento que realizaba, muestran el interés que tenía por la astronomía y para ello contó con diversos instrumentos de medición y observación, tales como cuadrantes, relojes, ballestillas y desde luego telescopios. Sus observaciones astronómicas y el cálculo de efemérides le sirvieron a Sigüenza también para otros propósitos: la elaboración de almanaques, lunarios o pronósticos anuales que publicó anualmente; en ellos aparecían predicciones astrológicas y meteorológicas. Hay poco que añadir, salvo que durante toda su vida Sigüenza continuó haciendo predicciones relativas a los fenómenos astronómicos; al morir dejó sus pronósticos sobre los eclipses hasta el de 1711.²¹

El hecho de que a fines de 1680 apareciera en los cielos un cometa con una gran cauda luminosa, puso en aprietos a los intelectuales de la Nueva España a interpretar el fenómeno. Sigüenza lo interpretó como un fenómeno natural más, y para ello escribió un opúsculo titulado *Manifiesto filosófico contra los cometas despojados del imperio que tenían sobre los tímidos*. En esta obra, Sigüenza muestra que los cometas no anuncian calamidades. Este cometa fue el origen de un debate académico que Alicia Mayer define como uno de los discursos científicos de mayor riqueza en la historia colonial de América.²² En dicho debate Sigüenza escribió la *Libra astronómica y filosófica*, de la cual se hablará más tarde. En esta obra don Carlos no solo da muestra de erudición astronómica sino de conocer otras disciplinas como química, agricultura, medicina, geografía y matemáticas lo cual hace pensar que para hacer este trabajo, tuvo que tener una preparación interdisciplinaria; son muchos los autores que cita en la *Libra astronómica*.

A otros aspectos menos especializados de la labor científica también dedicó Sigüenza algo de su tiempo. El Claustro Universitario ordenó que el bachiller Carlos de Sigüenza construyese y graduase dos relojes de sol para el uso de la institución. Asimismo, se sabe a través de breves citas dispersas que se interesó por el magnetismo, puesto que realizó experimentos con el imán. Y otro tanto puede decirse de sus experimentos de óptica, que estaban basados en los estudios sobre el tema hechos por Anastasius Kircher, autor que Sigüenza leyó muchas veces y del que poseyó la mayoría de sus obras.

En su carácter de cosmógrafo real, Sigüenza debía realizar diversas cartas geográficas de la Nueva España, de las cuales sólo quedan pocos testimonios. Son seis los mapas o planos que se sabe con certeza que delineó, dos de los cuales son de la ciudad de México, están perdidos y los cuatro restantes son: el del itinerario de Alonso de León, el de la Bahía de Panzacola, el del valle de México y el general del virreinato. Del primero está firmado y datado por Sigüenza en 1689, y marca la ruta seguida por León y su contingente desde Coahuila hasta la laguna de San Bernardo. Este mapa adolece de ciertas limitaciones, pues fue hecho basándose en datos suministrados por el capitán de la expedición y no por observaciones directas de Sigüenza, pero su nomenclatura es correcta y da idea del trayecto que se siguió.²³ El mapa de la bahía de Panzacola, por el contrario fue realizado con base en las propias mediciones y observaciones de Sigüenza por lo cual resulta de mejor precisión, pues configura con detalle y claridad accidentes geográficos de buena parte del litoral del Golfo y fue hecho durante el gobierno del virrey Conde de Galve. Debido a las continuas amenazas en el Golfo de México por parte de los franceses - Luisiana, Texas y la Florida-, el virrey mandó hacer un extenso reconocimiento de aquel lejano territorio; confió esta tarea a Sigüenza, quién en 1693 partió del puerto de Veracruz rumbo a

¹⁹ Sigüenza y Góngora, Carlos de, *Libra astronómica y filosófica*, UNAM, México, 1984, p. 14.

²⁰ Romero Contreras, A. T., *op. cit.*, p. 197.

²¹ Leonard Irving, Albert, *op. cit.*, p. 89 y 90.

²² Mayer, Alicia, *op. cit.*, p. 82.

²³ Trabulse Atalá Elías, *op. cit.*, p. 241.

Panzacola. Don Carlos levantó un cuidadoso plano cartográfico de la bahía e hizo un extenso y detallado informe de la expedición para mandarlo al virrey.²⁴ Así en la descripción de la bahía de Panzacola, Sigüenza hizo un reconocimiento en persona del lugar, haciendo una relación detallada desde múltiples perspectivas (geográficas, meteorológicas, agrícolas, silvícolas, hidráulicas, estratégicas, militares y comerciales) mostrando no solo talento y erudición, sino una mente crítica y lúcida hacia la predicción científica. Este criterio se pone de manifiesto el uso de la ciencia como instrumento de dominio de la naturaleza concepción típica del Renacimiento que se refleja en una mente práctica, presta a la realización de nuevas empresas:

“Y para mayor claridad describiré esta bahía (Panzacola) y su fertilidad, propondré los daños que de ocuparla los enemigos nos amenazan, y ofreceré medios no difíciles para que la habitemos y defendamos con varias utilidades que se sigue de ello, así para la propagación del santo Evangelio como para aumento y crías del patrimonio real”.²⁵

Del mapa de la ciudad de México se tiene duda de que sea de Sigüenza ya que el original que él hizo está perdido, y se cree que la que existe es una copia. El mapa del virreinato de la Nueva España, hecho por Sigüenza en 1688, es el primer mapa general de México y está comprendido entre los 13° 30' a los 30° 30' de latitud boreal y los 268° a los 292° de longitud oriental desde el meridiano del puerto de Santa Cruz en la Isla de Palma. Este mapa abarca la mayor parte del territorio que por aquel tiempo abarcaba la Nueva España. El mapa está dibujado sobre una cuadrícula ortogonal, en la cual tienen igual dimensión los grados de latitud y longitud. Contiene los nombres y situación geográfica de 156 poblados, además de los mayores accidentes geográficos y tiene una hidrología aceptable.²⁶

3.3 Sigüenza en las artes técnicas de ingeniería civil, militar y como agrónomo

El problema del desagüe del Valle de México fue casi insoluble durante el periodo de los virreyes, y siguió siéndolo hasta bien entrado el siglo XIX. Conociendo el interés de Sigüenza por la aplicación de las matemáticas a la solución de problemas, se aplicó a buscar una solución práctica a tal dificultad, y aunque no logró resolverla de manera definitiva, si prestó su ayuda material e intelectual para lograr un alivio temporal. Sigüenza empezó por investigar la existencia del famoso sumidero del lago de Texcoco, que según las teorías del padre Francisco Calderón era la solución a estas catastróficas inundaciones. Después de un minucioso sondeo de la Laguna, Sigüenza concluyó que tal sumidero no existía. Propuso en contrapartida para prevenir las inundaciones la construcción de una gran acequia que protegiera los barrios occidentales. Aprobada la propuesta por el conde de Galve, Sigüenza ordenó practicar una profunda zanja de “dos varas de hondo, seis de ancho y tres mil seiscientos veinte de longitud” que pasaba por el puente de Alvarado y terminaba en la calzada de Chapultepec. Con la tierra extraída al cavar la zanja ordenó construir un parapeto, el cual reforzado por unos sauces que exprofeso mandó plantar, era capaz de contener las aguas crecidas, obligándolas a correr por el desagüe sin desbordarse. Además en 1691 practicó una revisión del sistema de canales y ordenó una limpieza de las acequias. Esta labor la repitió en 1692, por lo que dirigió un escrito al claustro de la Universidad donde solicitaba permiso para ausentarse de la cátedra de matemáticas.²⁷

²⁴ *Ibidem*, p. 238-240.

²⁵ Leonard Irving, Albert, *Carlos de Sigüenza y Góngora. Documentos inéditos*, Centro Bibliográfico Juan José Eguíara y Eguren, México, 1963, p. 51.

²⁶ *Ibidem*, p. 243.

²⁷ Trabulse Atalá Elías, *op. cit.*, p. 232.

En otro aspecto de la técnica, Sigüenza también tenía conocimientos en cosas relativas a la artillería y las fortificaciones militares; entre sus títulos tenía el de oficial "examinador de artilleros", y como experto en fortificaciones inspeccionó y analizó la situación en que se encontraba las obras de fortificación de San Juan de Ulúa, respecto del cual escribió un informe que entregó al virrey.²⁸

Sigüenza también se interesó por la agricultura, ya que se preocupó por los productos que favorecían el crecimiento de las plantas. Afirmó haber estudiado el asunto durante algún tiempo en el campo mismo ayudándose de tratados sobre el tema. Concluyó que la humedad de la tierra, unida a sales nitrosas "de que abundan la orina y los excrementos de los animales" forman el abono más recomendable. También investigó las causas por las que los agricultores quemaban los "prados y las laderas del campo, purificando los vicios y malezas de la tierra". Afirmó que las cenizas que se producían "por la combustión de los leños o de los pastos, o del incendio de las hierbas" fecundaban la tierra debido a la materia orgánica que poseían. Apoyado en diversos autores (aún con matices alquimistas) estudió el fenómeno de la ignición de las plantas y la materia residual que quedaba, y concluyó que sólo "las partes fijas de los vegetales permanecían, formando el elemento básico que fertilizaba la tierra, pues eran reincorporadas por las plantas al germinar, y esas mismas eran devueltas a la tierra al ser quemadas".²⁹

3.4 Don Carlos como antropólogo e historiador

Si bien Sigüenza tenía relevancia por su actitud con las matemáticas y la astronomía, sus aportaciones en el campo de la historia son interesantes. Su idea de historia está determinada por tres factores fundamentales según lo señala Alicia Mayer³⁰ y estos son: 1) por la vertiente del humanismo renacentista, 2) por las ideas derivadas de los procesos de reforma y 3) por su situación como criollo americano. Viendo el primero, el Renacimiento había dado un giro radical al pensamiento occidental y sus resultados se dejaron sentir en una nueva concepción del mundo, que se fraguó lentamente. Sigüenza, aún siendo hombre del siglo XVII, se nutrió de humanismo; conjugó la actitud teológica con una orientación hacia los estudios humanísticos. Sigüenza estudió e investigó los papeles antiguos, por lo que tuvo la necesidad de estar versado en el idioma náhuatl, que era la lengua franca de la mayoría de los escritos históricos aborígenes, gracias a esto Sigüenza logró descifrar muchos de los primeros monumentos e interpretar los acontecimientos indios de acuerdo con el calendario cristiano.³¹ Sigüenza dice en el prólogo de su obra *Paraíso occidental* al referirse a su historia de los chichimecas que "dará noticia no con menos pruebas que con demostraciones innegables por matemáticas". Así indujo el método matemático para el estudio histórico.³²

El segundo factor que determina su idea de historia se refiere a su influencia religiosa, pues su pensamiento histórico no podía derivar totalmente de elementos seculares. En sus obras destacan más los hechos humanos tanto o más que los prodigios divinos pero no dejan en ningún momento los tintes religiosos. El pensamiento de Sigüenza está entre el cristianismo medieval, el Renacimiento y el barroco, además de que contribuyó a ensalzar la modernidad, el proceso de Reforma-Contrarreforma dio nueva vigencia a la explicación teológica y a otros elementos filosóficos de la edad anterior. Se puede pensar que Sigüenza está entre un término medio, entre

²⁸ Mayer, Alicia, *op. cit.*, p. 94.

²⁹ Trabulse Atalá Elías, *op. cit.*, p. 234. y Sigüenza y Góngora, *Libra, op. cit.*, p. 51-52.

³⁰ Mayer, Alicia, *op. cit.*, p. 233.

³¹ Trabulse Atalá Elías, *op. cit.*, p. 236-237.

³² Mayer, Alicia, *op. cit.*, p. 235.

las líneas de tradicionales y las modernas del pensamiento histórico, entre el providencialismo y la moderna crítica de la historiografía.³³

El tercero y último factor sería, su concepción criolla, que le hace registrar la historia, narrarla e interpretarla de manera especial. Su sentir de que los criollos también tienen un pasado, un sentido importante; a su empeño de criollo orgulloso de su patria, de revalorar y legitimar la historia antigua de México insertándola dentro del proceso de la historia universal. Sin duda, Sigüenza recogió los valores de la antigüedad clásica y el Renacimiento, al considerar que la historia debía ser "útil y práctica".

La actividad de historiador, llevó a Sigüenza a coleccionar valiosos documentos sobre hechos y antigüedades indígenas, fuentes indispensables que le servirían en la construcción de sus narraciones históricas, muchas de las cuales sí han llegado hasta nosotros. De sus trabajos históricos, principalmente de los obtenidos por las fuentes donadas a través de la mano de Alva Ixtlixóchitl, heredero y descendiente de los antiguos reyes de Texcoco, logró los aportes más interesantes en su calidad de investigador de las que derivan obras de carácter histórico y cronológico. Sigüenza trataba de demostrar que México era ya, en su tiempo, la fusión -aunque aún en proceso- del español y del indio. A Sigüenza probablemente puede catalogarse como el primer anticuario mexicano.

También tuvo una destacada participación en las exploraciones arqueológicas, Según Ignacio Bernal es "el primer mexicano que lleva a cabo la primera exploración francamente arqueológica -en Teotihuacan- en la que trata de utilizar una escultura para esclarecer algún problema histórico". El escrito de esta empresa intelectual se encuentra perdido.³⁴

El interés de Sigüenza por recopilar datos sobre California, Nuevo México Texas o los litorales del Golfo le ayudó a obtener informes recientes y fidedignos que pudieran apoyar sus descripciones históricas y geográficas y así aprovecharlos para escribir obras que ahora resultan básicas para conocer la historia del septentrión novohispano, de la colonización española de Luisiana y del papel de la armada de Barlovento en la defensa de las posiciones españolas del Caribe.³⁵

De lo anterior podemos decir que Sigüenza tuvo un espíritu incansable e impaciente de curiosidad intelectual, que estuvo comprometido con el quehacer intelectual, un alma que mostró posibilidades de pensamiento y acción, casi dibujado por los lineamientos del Renacimiento por su versatilidad por haber abarcado casi todos los campos del saber de su tiempo. Su existencia trascendió en el clímax del barroco y la vitalidad de sus acciones trascendió en su legado escrito, que por una trágica decisión del destino se han perdido la mayoría. Quedan tan sólo unas líneas que se han salvado con el tiempo ¿serán suficientes estas manifestaciones que el tiempo perdonó para aprehender la esencia y captar el espíritu de este hombre?

³³ *Ibidem*, p.237.

³⁴ Romero Contreras, A. T. , *op. cit.* , p. 197.

³⁵ Trabulse Atalá Elías, *op. cit.* , p. 230.

4 LAS MATEMÁTICAS EN EL QUEHACER CIENTÍFICO DE CARLOS DE SIGÜENZA Y GÓNGORA

En el siglo XVII se halla en su primera fase de constitución definitiva la ciencia moderna. Un siglo antes por la influencia escolástica, la ciencia es ciencia de lo general. Como se vio en el primer capítulo prevalecía la visión geocéntrica del mundo, según Aristóteles y Ptolomeo, en un cosmos teocéntrico, finito y limitado. En el renacimiento aparece la idea de naturaleza y un movimiento que tiende a sustituir la interpretación por la observación. La revolución copernicana hacia la concepción heliocéntrica, seguida por Tycho Brahe y Kepler, trastornó las ideas milenarias relativas a la estructura del universo trayendo un cambio en la investigación científica.

A principios del siglo XVI ya era claro el desarrollo de las matemáticas puras y la física empezaba a ser cuantitativa. La naturaleza "sensible" comenzó a ser "materializable" como lo expuso Galileo hacia 1630, es decir demostrable sólo por esta vía. También en este terreno, Descartes, ayudado por el método analítico, prometía fundar el conocimiento seguro a través de un orden único en el cual las cosas que se dan dentro de él se pueden explicar por las mismas formas de razonamiento matemático. La necesidad de descubrir las leyes que rigen los fenómenos hizo que se consolidara el método experimental, basado en la inducción. Los esquemas de la dinámica celeste contenidos en los *Principia* de Newton, donde las observaciones y experiencias se organizan en torno a definiciones establecidas en un contexto matemático, y la dinámica newtoniana para explicar las propiedades de la materia fueron paulatinamente aceptadas por la comunidad científica de su tiempo.

De este panorama de los cambios que favorecieron la nueva ciencia, Sigüenza no los vislumbró totalmente, aunque fue parte ya del proceso de transición. Se advierte que lo que a continuación se expone es una mera propuesta para que en un futuro pueda ampliarse más sobre el tema. Se verán sólo tres aspectos concretos que destaca la obra de Sigüenza: primero su inclinación por el saber científico, siendo un ejemplo de este interés, el estudio del cometa de 1680-1681; segundo el resultado de sus consideraciones que se tradujo en la *Libra astronómica* y lo interesante: saber qué herramienta matemática utilizó en sus cálculos; y tercero, de sus actividades derivadas como cosmógrafo real, saber qué herramienta matemática lo auxilió para resolver los problemas que enfrentó.

Para tener una idea de los límites que nos impusieron las fuentes documentales, a continuación se enumeran algunas de las más importantes:

Muchos de los trabajos científicos de Sigüenza se encuentran desaparecidos, el único que se pudo estudiar fue su *Libra Astronómica y Filosófica* que escribió a finales de 1680 y

principios de 1681. Pero el análisis de esta obra no nos permite concluir que era la única información que manejaba ya sea al discurrir sobre el origen de los cometas y sobre todo el manejo de la herramienta matemática que utilizó para los cálculos del cometa que observó entre 1680 y 1681. También se puede decir algo acerca de los autores que cita, pero tampoco significa que eran los únicos libros de matemáticas que conocía.

Otro aspecto que se debe tomar en cuenta de la *Libra*, es que Sigüenza no la escribió para dar a conocer sus observaciones sobre el cometa, sino que fue en respuesta a una desaprobación, (como veremos más adelante) de sus ideas sobre los cometas por parte de un novohispano y un flamenco, pero sobre todo por un cosmógrafo germano. Sigüenza sintió que, siendo él un cosmógrafo real, fuesen subestimados sus conocimientos por un cosmógrafo extranjero obligándolo a responder con la *Libra*. Recordemos algunas disputas famosas, como la de Tycho Brahe contra Ursus sobre la prioridad en el descubrimiento del sistema del mundo llamado "Tychónico", se advierte esto con claridad: el danés no ve el asunto como una cuestión de prioridad sino como un insulto hacia su nobleza por alguien de un *status* menor (Ursus era de origen campesino). En polémicas como las de Galileo con Capra sobre el compás militar, o de Tartaglia con Cardano a través de Ferrari, se advierte que lo que está en cuestión es el honor tanto o más que la credibilidad científica. Es probable que de no haberse dado esta situación, Sigüenza no hubiese sacado a la luz sus observaciones en torno al cometa por medio de este documento.

Cabe señalar, que entre los que participaron en la polémica cometaria, el cosmógrafo europeo, Francisco Eusebio Kino que tenía una edad similar, una trayectoria académica parecida y la misma profesión, pero con la diferencia de que Kino provenía de un lugar más cercano al centro geográfico de producción del conocimiento, nos ha parecido importante comparar su obra *Exposición Astronómica del cometa*, con la *Libra Astronómica* escrita por Sigüenza.

Lamentablemente la correspondencia que mantuvo Sigüenza con sabios europeos no se ha podido encontrar, por ello desconocemos si había intercambio de conocimiento o se presentaba una comunicación personal de otra índole. Por otra parte, la biblioteca de Sigüenza que heredó al Colegio de San Pedro y San Pablo se perdió durante la invasión norteamericana. Hasta el momento sólo hemos podido localizar dos de los libros de matemáticas que fueron de su propiedad. Ninguno de estos libros es citado en la *Libra*, lo cual nos ha permitido tener información complementaria sobre los autores que leía y el contenido matemático de sus obras.

También se ha recurrido a las obras de matemáticas que provenían del viejo continente y circulaban en la Nueva España, como las que se publicaron en esta región y fueron escritas por novohispanos, aunque hay que tomar en cuenta que no pudieron circular todas las que existían, ya que el Santo Oficio restringía la circulación tanto de las obras que contradecían las sagradas escrituras como aquellas que provenían de países protestantes. Lo anterior impide aprovechar al máximo la información que podríamos obtener de otras fuentes, como las que nos brinda la historia universal de las matemáticas. Aunque pudiéramos determinar los libros más importantes que se editaron en Europa sobre matemáticas y de matemáticos más sobresalientes, no podemos tener certeza si llegaron o no a la Nueva España. Se tiene idea de algunos de los libros que llegaron a la colonia de los cuales se han citado algunos en este trabajo. También es de alguna ayuda los autores y obras que Sigüenza cita en la *Libra*, sobre todo los que se refieren al estudio de las matemáticas, para lo cual nos permitirá elaborar un juicio sobre los conocimientos alcanzados por este sabio novohispano en esa ciencia y por último los trabajos de sus contemporáneos novohispanos que hayan realizado actividades similares a las de nuestro personaje nos ayudarán a dar un encuadre general del uso del tipo de herramienta matemática que era conocida y que por ende también haya conocido Sigüenza.

4.1 El saber científico

José Gaos escribió que el nombre de filosofía no sólo lo dieron los filósofos, sino también los científicos, aquellas de sus producciones que desde antes o después pasaron a ser consideradas como específicamente científicas.¹ Por ello el calificativo de filosofía natural fue dado por Sigüenza a la ciencia cuando quería señalar que se trataba del estudio de los fenómenos naturales.

Sigüenza fue un personaje que sobresalió en el México novohispano, pero no significa que fue el único ya que como se vio antes, fray Diego es otro novohispano el cual merece otro trabajo en el cual se analice su obra. Lo importante es que nuestro personaje respiró los aires de la modernidad que tuvieron lugar durante el periodo del Renacimiento. Sigüenza tuvo a su favor la disposición de recibir las novedades científicas; Sigüenza piensa en un cosmos milagroso y en el próximo fin del mundo, pero cuando se trata del conocimiento objetivo aporta explicaciones científicas de su tiempo. Podemos suponer que Sigüenza estaba al tanto de las novedades científicas que se elaboraban en Europa, y esto se puede ver cuando hizo referencia a las obras de autores que leyó al citar su bibliografía en la *Libra astronómica*. Al igual que conoció las teorías modernas de su época también conoció las filosofías antiguas, así como de las técnicas y modelos que permitían compenetrarse con los fenómenos del universo. Sigüenza sería el continuador de la difusión del nuevo pensamiento como lo había hecho fray Diego, además de que fue sagaz para percibir los títulos recientes en Europa y que aún no aparecían en la Nueva España. De esta manera, conoció tanto las teorías más innovadoras, como las interpretaciones que hacían sus contemporáneos de las filosofías antiguas, así como las técnicas y modelos que permitían compenetrarse con los fenómenos del universo.²

Sigüenza fue la cabeza para el cambio de la visión del mundo medieval al moderno. En él las nociones escolásticas cedieron terreno en menor o mayor grado, ante los objetivos planteados por la observación y el análisis hasta cierto punto científico; vio los portentos de la naturaleza no como azotes de la ira divina, sino como ocurrencias explicables.

Cuando la gente de su época se atemorizaba con los fenómenos naturales como eclipses, cometas, auroras boreales, etc., Sigüenza, por el contrario se alegraba de ver dichos fenómenos para estudiarlos y comprender su naturaleza. Lo anterior lo podemos ver a través de las explicaciones que don Carlos emite al observar un eclipse en el año de 1692:

“Yo en extremo alegre y dándole a Dios gracias repetidas por haberme concedido ver lo que sucede en un determinado lugar tan de tarde en tarde y de que hay en los libros tan pocas observaciones, estuve con mi cuadrante y antejo de larga vista contemplando el sol!”³

Sigüenza, como se dijo, fue receptor de las nuevas ideas que provenían de Europa. Su interés por las nuevas teorías, le hizo introducirse en la nueva ciencia que postulaba la inducción y la deducción, la utilización del juicio crítico y el pragmatismo experimental. También mostró escepticismo científico y filosófico. Reunió autoridades antiguas y modernas para apoyar sus propuestas, pero lo hizo con una conducta que lo hacía dudar de los teóricos más consumados y asumir una posición impugnadora contra las verdades establecidas o infundadas. Además fue

¹ Gaos, José, *Historia de nuestra idea del mundo*, Fondo de Cultura Económica, México, 1973, p. 166.

² Mayer, Alicia. *Dos americanos dos pensamientos: Carlos de Sigüenza y Góngora y Cotton Mather*, México, p. 196.

³ Sigüenza y Góngora, Carlos de, “Infortunios de Alonso Ramírez”, en *Relaciones históricas*. Selección, prólogo y notas de Manuel Romero de Terreros. México, UNAM, 1954, p. 123-124.

partidario de la evidencia empírica y aunque todavía recurre a las sutilezas del silogismo para formar su deducción, se basa más en el análisis de las proposiciones.⁴

Don Carlos interpretó el cosmos científicamente. Refutó el hecho de que el universo estuviera guiado por poderes ajenos a Dios, siendo el cometa de 1680 su mejor ejemplo para demostrar que se guiaba por leyes físicas, en última instancia reguladas por Dios. En Sigüenza las matemáticas y la ciencia geométrica desplazaron a la astrología, a las supersticiones y suposiciones sin fundamentos. El insistió que las primeras guardaban las claves del universo.

Sigüenza también echó mano de algunos estudios de hombres eruditos de la Nueva España para construir su visión particular de la naturaleza, siendo uno de ellos fray Diego Rodríguez, el cual fue predecesor de la cátedra de matemáticas, Juan Ruiz y Gabriel López de Bonilla, a quienes Sigüenza cataloga como sus fuentes principales. Menciona también a José Zaragoza, al matemático flamenco Pedro Van Hamme. Alicia Mayer califica a Sigüenza como un “profesional” de la matemática y de la astronomía y lo compara con Cotton Mather, un bostoniano que a pesar de haber conocido los *Principia* de Newton, en sus trabajos científicos no hace uso del avanzado instrumental matemático en sus exposiciones.⁵ También se hace notar la actitud “moderna” de Sigüenza en su testamento, en el cual desea que, a su muerte su cuerpo se abriera y se disecara para que se avanzara en el estudio de la ciencia médica y la cura del dolor; además de haber sido catedrático de matemáticas y haber cultivado el estudio de la astronomía, elaborando trabajos al respecto, si se recuerda el espacio que dedicamos a la biografía de Sigüenza, también incursionó y escribió en otras áreas del conocimiento humano.

Elias Trabulse ha analizado la obra científica de Sigüenza y ha encontrado matices de astrólogo. Por una parte se tienen sus lunarios y almanaques; por otra se tienen el *Manifiesto* y la *Libra* que nos introducen con el matemático, el astrónomo y en fin con el racionalista escéptico como lo llama Trabulse, que no está de acuerdo con las explicaciones de los astrólogos, pero que da propuestas astrológicas. Lo anterior parece ser una contradicción, pero esto tiene explicación. Sigüenza distinguía la astrología de la astronomía racional. A la primera la consideraba como el arte de pronosticar sucesos futuros por el conocimiento de los astros y aunque don Carlos no se adhirió plenamente a esta creencia, es indudable que conocía sus métodos y fallas, mientras que a la segunda la conocía como la ciencia que trata de la posición, movimiento y constitución de los cuerpos celestes.⁶

Una visión renovadora de don Carlos fue su crítica a la astrología, “ciencia” del porvenir, basada en la posición relativa de los astros, que tenía en la reputación de ejercer influencia sobre los destinos humanos. En la *Libra astronómica*, afirma que “la astrología es consiguientemente irrisible”, “invención diabólica... cosa ajena de ciencia, de método, de reglas, de principios y de verdad”. En ella afirmó que: “Yo también soy astrólogo y se muy bien cuál es el pie de que la astrología cojea y cuales los fundamentos debilísimos sobre que levantaron su fábrica”.⁷

Sigüenza distingue entre dos tipos de astrología, una de ellas “permitida”, la que “trata de las mudanzas del aire” y otra “ilícita y prohibida, que pronostica los futuros dependientes de la voluntad del hombre”. Antepone a ellas la astronomía que forzosamente “necesita para su perfección de las matemáticas” y tenía en definitiva rango de ciencia.⁸

Es factible que sus lunarios los haya hecho, como el mismo dice, por necesidad.⁹ En dichos trabajos de astrología Sigüenza proporciona datos astronómicamente fidedignos acerca de

⁴ Mayer, Alicia, *op. cit.*, p. 200.

⁵ *Ibidem*, p. 204.

⁶ Trabulse Elias, *Ciencia y religión en el siglo XVII*, El Colegio de México, México, 1974, p. 63.

⁷ Sigüenza y Góngora, Carlos de, *Libra astronómica y filosófica*, presentación de José Gaos, Centro de Estudios Filosóficos, México, 1959, p. 14 y 168.

⁸ Mayer, Alicia, *op. cit.*, p. 200.

⁹ Trabulse Elias, (1974), *op. cit.*, p. 63.

las posiciones de los astros, eclipses y otros fenómenos constatables, pero también muestra conocimientos astrológicos al hacer una serie de predicciones. El mismo, en su *Teatro de las virtudes políticas* al hablar de la entrada del nuevo virrey, da una afirmación astrológica. Nosotros creemos que lo dijo para dar gusto al gobernante, el marqués de la Laguna, quién al parecer necesitaba de todos los auspicios tanto terrenos como celestes para ejercer el mando, además de que en la *Libra* refuta a la astrología como vimos líneas mas arriba. Lo anterior es permisible, ya que Sigüenza vivió el periodo de transición de la ciencia en la Nueva España, la cual estaba llena de concepciones mágicas misteriosas mezcladas con aserciones científicas siendo esta mezcla producto de la corriente hermética. Además el ambiente social estaba en pro de las predicciones astrológicas en que se enmarca el siglo XVII y un astrónomo real como lo era Sigüenza tenía entre sus obligaciones presupuestas la de elaborarlas, aunque no estaba de acuerdo en ellas como se vio anteriormente.

La relación causal debe establecerse siempre, no casi siempre, lo cual Sigüenza muestra que no existe tal relación entre hecho funesto y cometa; se trata de una mera coincidencia temporal, de una casualidad, puesto que los infortunios son más frecuentes o mejor dicho casi constantes, mientras que los cometas aparecen más esporádicamente y el que coincidan con alguno de estos eventos no los muestra necesariamente como su causa. "No son necesarias consecuencias de los cometas los infortunios porque son éstos más repetidos en el universo que aquellos fenómenos ..."¹⁰ La causalidad es una relación estricta e irreversible. En la sucesión causa-efecto, la causa por lógica es siempre anterior al efecto. Si bien no acepta que le endilguen cualidades a los cometas que no poseen, también confiesa modestamente no saber con exactitud el origen de los cometas. "Nadie, hasta ahora, a podido saber con certidumbre física o matemática de qué y en dónde se engendren los cometas, con que mucho menos podrán pronosticarse."¹¹ También reconoció que los métodos astronómicos existentes de su época no le permitían asegurar nada en torno a esos fenómenos celestes. Sigüenza trató de dar hipótesis racionales que explicaran el origen de los cometas, apartándose de las demás hipótesis míticas de la época. Sigüenza indaga acerca del fenómeno cometario con la objetividad suficiente como para dilucidar su naturaleza, no tanto por decir lo que son los cometas sino por demostrar lo que no son.

4.2 Interpretación del cometa de 1680

Como se vio en el capítulo uno, la corriente racionalista tomaba más auge para la explicación de los fenómenos que ocurrían en la naturaleza; la corriente tradicionalista medieval fue cediendo terreno a las nuevas tendencias del pensamiento. En particular las supersticiones e ideas infundadas acerca de los cometas fueron desapareciendo en el Viejo continente y lo más interesante es que no sólo el embate racionalista tuvo lugar en él, sino también en el Nuevo Continente, aunque todavía tardó mucho para que las nuevas explicaciones científicas llegaran a todas las capas de la población. Muchos observadores del cielo del Viejo y Nuevo continente dieron explicaciones de los cometas más o menos parecidas. Sigüenza dio una explicación diferente del cometa de 1680 en la Nueva España. Este hecho resultó significativo por la polémica que tuvo lugar entre don Carlos y otros personajes de su época en torno a la definición de este fenómeno. Para entender esto último, José Gaos da una explicación al respecto:

¹⁰ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica*, op. cit., p. 36.

¹¹ *Ibidem*, p. 10.

“La polémica ocasionada por el cometa de 1680 en la Nueva España no fue propiamente de los cometas como puros cuerpos y fenómenos celestes o astronómicos, cuanto acerca del significado de su aparición para los hombres y de su influencia sobre lo humano: justamente fue una polémica propia del tránsito histórico de la arcaica concepción astrológica de los cometas a la moderna concepción astronómica de ellos”.¹²

Este cometa es recordado en la historia de la astronomía, pues fue uno de los elementos en que Isaac Newton apoyó su teoría de la gravitación universal y el punto de partida desde el cual Pierre Bayle y otros autores comenzaron a quitarle la etiqueta de mítico al cielo.¹³

El cometa había causado gran temor entre la población novohispana debido a las supersticiones que rodeaban este tipo de fenómenos; Sigüenza lo observó con una mentalidad totalmente distinta a la de sus conciudadanos. Atraído por la luminosidad de la cauda y en su afán de explicarse científicamente el origen, la disposición y el eventual comportamiento del cuerpo errante, anotó sus interpretaciones y conclusiones en un tratado titulado *Manifiesto filosófico contra los cometas despojados del imperio que tenían sobre los tímidos* para calmar a la temerosa población, entre ellos a la virreina Condesa de Paredes. Esta obra dio lugar a una polémica científica en la Nueva España del siglo XVII.

La primera impugnación al *Manifiesto filosófico* provino de José de Escobar y Salmerón y Castro, quién sostenía que los cometas eran producto de las “exhalaciones de los cuerpos muertos y del sudor humano”. Sigüenza al saber esto hizo caso omiso a dicha sentencia.¹⁴

Otra opinión en contra salió de la pluma de Martín de la Torre titulada *Manifiesto cristiano en favor de los cometas dotados de su natural significación*. A esta obra, Sigüenza contestó con el *Belerofonte matemático contra la químera astrológica de don Martín de la Torre*, obra que es desconocida, salvo por las referencias que se dan de ella en la *Libra*.

Un tercer personaje que entró en el debate fue el padre Eusebio Kino quién escribió la *Exposición astronómica del cometa*¹⁵ siendo esta obra la que le obligó a don Carlos a escribir la *Libra astronómica* como respuesta a la obra de Eusebio Kino.

La *Exposición astronómica del cometa* consta de diez capítulos, de ellos nueve, están destinados a exponer sus ideas acerca de los cometas, su formación y distancia a la Tierra, su tamaño y el de su cola, y la naturaleza de ésta. El capítulo diez está dedicado a “De lo que pronostica el cometa de 1680 y 1681, o que anuncie prospero o infeliz amague”. Este último capítulo es una disertación sobre el cometa.

¹² Gaos José, “prólogo” a Sigüenza y Góngora, *Ibidem*, p. xii.

¹³ Trabulsee, Elías, “La obra científica de Carlos de Sigüenza y Góngora 1667-1700”, en *Actas de la Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia*, vol. I, 1989, p. 228.

¹⁴ Mayer, Alicia, *op. cit.*, p. 83.

¹⁵ El título completo es: *Exposición astronómica de el cometa que el año de 1680 por los meses de Noviembre y Diciembre, y este año de 1681. por los meses de Enero y Febrero, se ha visto en todo el mundo y le ha observado en la Ciudad de Cádiz.*

4.3 La Libra astronómica y filosófica

Fue en este libro donde Sigüenza asentó todo lo referente al cometa de 1680 y sus críticas a las observaciones del padre Kino y del doctor Salmerón y Castro. La importancia de este libro radica en la polémica científica en torno al cometa que fue observado por Sigüenza y sus contemporáneos científicos. En esta obra muestra un apartado en donde Sigüenza explica el motivo por el cual se vio obligado a escribir la obra, siendo el mencionado líneas arriba. También Sigüenza dice haber sido forzado a escribir su libro por las confusiones de Kino y por la acusación lanzada en su contra. También consideró Sigüenza que “no sólo a mi sino a mi patria y a mi nación desacreditaría con el silencio”.¹⁶ Lo anterior da muestras de la conciencia criolla por defender las actividades criollas en general y tener un lugar en el orbe.

Viene después una parte que está dedicada a explicar el contexto de su *Manifiesto filosófico contra los cometas*, cuyo móvil fue dar argumentos contra las absurdas creencias de que los cometas son malignos y que traen desventuras. Después en otra parte, Sigüenza expone los resultados del padre Kino en su *Exposición astronómica* y le hace instancia a cada propuesta. Destruye uno por uno los “argumentos contra la fatalidad de los cometas”. Posteriormente pasa don Carlos a examinar los fundamentos de Kino donde afirma el alemán ser los cometas precursores de siniestros tristes y sucesos calamitosos. Sigüenza, en cambio, muestra las equivocadas opiniones del padre Kino y analiza los métodos que propone el padre, para después concluir lo imposible de dichas tesis.

En la *Libra astronómica*, Sigüenza rechaza cualquier tipo de autoridad en materia de ciencias. Al desestimar la autoridad sacrosanta de Aristóteles daba un paso a la emancipación intelectual. “Aristóteles, jurado príncipe de los filósofos -escribe don Carlos en la *Libra*- que ha tantos siglos lo siguen con estimable aprecio y veneración, no merece ascenso... cuando se opusieron sus dictámenes a la verdad y a la razón”.¹⁷

El dogma está ligado a la autoridad y Sigüenza explica su postura de erudito renovado al establecer que existen conocimientos que se resisten al dogma, independientes de él. Las ciencias de la naturaleza se deben comprobar en la experiencia y demostrar matemáticamente, sometiendo pruebas y demostraciones al ejercicio crítico de la razón. La explicación de los fenómenos naturales nunca podrá ser dogmática. Apela a la experiencia en materia astronómica, ya que en la *Libra* escribe: “nadie puede asentar dogmas en estas ciencias, porque en ellas no sirve de cosa alguna la autoridad sino las pruebas y la demostración”¹⁸.

De esta manera principia la labor científica, el antidogmatismo y también la decadencia de la metafísica. El nuevo paradigma del saber es la ciencia y el conocimiento libre de falsedades es el que se funda con base matemática o el que se comprueba por la experiencia. Se empieza a vislumbrar en la *Libra* el comienzo de la era de la razón. Ella encuentra la verdad por sí misma, en una lucha destructora de prejuicios, descubre las falsedades, hecha abajo las dudas. No es posible dejar de “saber que cuando se duda de la bondad de una cosa... no hay modo de libertarnos de aquella duda, si no es poniéndola en las balanzas de la razón, como aquí lo hago” escribió Sigüenza en la *Libra*.¹⁹

También podemos observar en la *Libra*, que don Carlos tiene una clara conciencia del valor de la moderna ciencia astronómica, cuyos fundamentos son el cálculo y la observación y escribe: “...los modernos han tenido más cuidado que los antiguos en calcular los eclipses, también lo han tenido en observar los cometas”.²⁰ La observación se deberá reforzar con el uso

¹⁶ Trabulse Elías, *op. cit.*, p. 151.

¹⁷ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica*, *op. cit.*, p. 69.

¹⁸ *Ibidem*, p. 123.

¹⁹ *Ibidem*, p. 67.

²⁰ *Ibidem*, p. 29.

de instrumentos exactos que ayuden a los sentidos lo cual nos hace ver que Sigüenza estuvo consciente de ello, de hecho hace mención del telescopio.²¹ La observación científica requiere de exactitud que sólo los instrumentos pueden proporcionar, ya que los sentidos y la estimación aproximada son factores de limitación y deterioro de la verdad. "Advierto también de que las observaciones hechas sin instrumento, sino con la vista y la estimación, es cosa indigna pensar que se puede concluir cosa alguna de consideración en materia tan primorosa como la que aquí se ventila" sentenció Sigüenza en la *Libra*.²² El cálculo matemático servirá para lograr la certeza de sus aseveraciones, útil en la solución de problemas. La observación llevaría a la evidencia empírica; el cálculo a la evidencia racional.

Bajo la perspectiva crítica no resulta una mera casualidad que Sigüenza en su *Manifiesto filosófico* cite a Gassendi, a Descartes y a Galileo;²³ más bien es una clara prueba de que Sigüenza vivió el clima de la ciencia moderna o al menos lo percibió y, aunque no sea posible referir todas las influencias que pudo haber percibido, se tienen argumentos que justo es la crítica, el punto de unión del novohispano con los europeos. Así en la *Libra* citando a Gassendi dice: "En lo que a mi toca, no me preocupó por los demás pues haya escrito o no haya escrito alguien contra mí, es igual, pues escribiría contra mí mismo, si al examinarme también yo, descubriera haberme equivocado en algo".²⁴

La crítica que expone Sigüenza en la *Libra* consiste en desbaratar los errores comunes difundidos entre los doctos y el pueblo, aquellas falacias que han sido arrastradas durante la historia. Por eso Sigüenza hace referencia en parte a los antiguos, para mostrar las creencias erróneas que tenían, para indicar como se había originado el error o superstición. Para Sigüenza el mal uso de la historia propicia el encubrimiento del error científico, una de las consecuencias será por tanto la revisión y autenticidad de las fuentes históricas. La utilidad que tiene la historia para la ciencia no se limita únicamente a posibilitar el descubrimiento del error o fundar la verdad sino que permite en alguna de sus formas (concretamente las crónicas descriptivas) acumular experiencias y predecir el futuro.²⁵ Con Sigüenza la historia sirve de marco teórico a la ciencia, por un lado permite verificar o falsificar algunas proposiciones científicas y, por otro, la acumulación de hechos en la astronomía, la consignación histórica de los fenómenos celestes permitirá establecer su regularidad y frecuencia. Esa crítica que hace uso Sigüenza en la *Libra* es la que posibilita y garantiza el desarrollo de la verdad científica, la cual es una característica del método en la filosofía cartesiana.²⁶

En la *Libra*, Sigüenza da muestras de erudición, citando las fuentes que consultó para refutar al padre Kino. En este aspecto, Sigüenza fue muy minucioso y con toda claridad anotó las más exactas referencias rebasando las fronteras de nacionalidades y credos tornándose en un acervo realmente universalista. Aristóteles y Ptolomeo, los clásicos de la antigüedad greco romana, autores medievales y el desfile de los modernos como Kircher, Brahe, Kepler, Ricciolo, Hevelius, Gassendi, el padre José Zaragoza, Juan de Caramuel, Erasmo Bartolino, Joaquín Estegman, Conrado Confalonier, Honorato Fabi, Philip Miller, René Descartes por citar algunos,

²¹ *Ibidem*, pp. 124 y 182.

²² *Ibidem*, p. 123.

²³ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica*, op. cit., pp. 13, 148 y 149.

²⁴ *Ibidem*, p. 2.

²⁵ Benítez Grobet, Laura, *La idea de historia en Carlos de Sigüenza y Góngora*, México, UNAM, 1982, p. 74.

²⁶ La crítica, como función del conocimiento, posibilita su propio desarrollo, ya que en la medida en que un conocimiento es puesto en crisis sometido al análisis, a la inspección rigurosa, se elimina la posición dogmática, que de suyo evita la revisión, el exámen. Contra la mera opinión, la crítica pone de manifiesto la carencia o debilidad de los fundamentos de un conocimiento. La crítica permite evitar la subjetividad, al comprobar y aplicar los conocimientos. Como función del conocimiento, la crítica está presente a lo largo del desarrollo del conocimiento científico y filosófico, pero se toma una actitud conciente y parte del método en el siglo XVII a partir de la formalización cartesiana. *Ibidem*, p. 44

fueron los guías bibliográficos de Sigüenza. A diferencia de Sigüenza, Kino sólo cita pocos autores y fuentes bibliográficas, entre ellos Tycho Brahe, Kircher, José Zaragoza, Riccioli y Wolfgang Leinsberg, siendo este último profesor de Kino, además de algunos autores antiguos.

En la *Libra* se aprecia una dualidad que la caracteriza, del mismo modo en que se exhibió a don Carlos, en dos intelectos diferentes, es decir como astrólogo y como astrónomo. En la *Libra* Sigüenza expone argumentos entremezclados que lo situarían en la tradición ortodoxa, además de la forma escolástica en que está escrita, mientras que en otros menos representativos, se da a conocer como heterodoxo. Veamos esto con un poco de detenimiento.

Todas las afirmaciones cosmológicas de Sigüenza están realizadas en el marco de la polémica con Kino, lo que introduce cierta ambigüedad acerca de hasta qué punto las suscribía, no obstante cabe presumir que nuestro novohispano convenía con la doctrina cosmológica ptolemaica comúnmente aceptada por los astrónomos del siglo XVII, ya que aún en las universidades era enseñada. Quizás esto remita a Sigüenza en un marco ortodoxo ya que en lo que se refiere a ésta, don Carlos sostenía fundamentos de la concepción geocéntrica²⁷ y creía en la existencia de un primer móvil.²⁸ Además, entre sus libros que refuerzan esto se encontraba el *In spheram Ioannis* de Cristóbal Clavio, el cual es un libro de corte ptolemaico.²⁹ Por otro lado es probable que haya conocido el sistema cosmogónico de Tycho Brahe y el de Copérnico.³⁰ Su misma ortodoxia religiosa le impedía aceptar abiertamente la tesis de este último, aunque no por ello dejaba de mencionar, ya que lo hace ver en un velado fragmento de la *Libra*, el cual dice: “presupongo, lo tercero, hipotéticamente, la doctrina de los copernicanos de que con el movimiento diurno de la Tierra se mueve todo lo que es de naturaleza terrestre, como son las nubes y generalmente toda la atmósfera terráquea”.³¹ También se encuentra otro pasaje en el cual, al estar de acuerdo con Galileo y siendo este de antemano un copernicano, nos muestra indirectamente alguna afinidad hacia las teorías heterodoxas: “El Sol -expresa Sigüenza- fuera de su movimiento anual³² y diurno, tiene otro con que sobre su mismo centro se voltea en espacio de 27 días, el cual deducido del vario lugar de las manchas y fáculas solares, definen Galileo de Galileis en su *Maculis Solis...* y muchos otros”.³³ Además por lo que dijo el editor de la *Libra* don Sebastián de Guzmán y Córdoba se sabe que Sigüenza se sirvió de las hipótesis de

²⁷ Mayer, Alicia, *op. cit.*, p. 221.

²⁸ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica, op. cit.*, p. 11.

²⁹ Este libro se encuentra en el fondo reservado de la biblioteca del Palacio de Minería.

³⁰ Como veremos más adelante tanto el *Almagestum* como el *De revolutionibus* fueron contemplados en el plan de estudios para la enseñanza de la astronomía en la Universidad de Salamanca y muy posiblemente éste haya servido de modelo para la cátedra de astrología y matemáticas de la Real y Pontificia Universidad. Por otro lado el que se haya aceptado en un principio el *De revolutionibus* fue debido a que se publicó con la aprobación pontificia y como un reto a la oposición protestante. Pero la tajante oposición católica se presentó pronto como el resultado del Concilio de Trento, y cayó sobre los sucesores de Copérnico. Durante el siglo XVII, la autoridad católica y la protestante no tiene más alianza implícita que ésta para perseguir la ciencia copernicana. Pero el éxito protestante en la Reforma se debía en gran parte a la acción de príncipes deseosos de liberarse del dominio eclesiástico, y por eso la ciencia fue menos perseguida en los países protestantes, en los cuales el poder eclesiástico fue menor que en los países católicos. La sagrada Congregación del Índice no condenó el *De revolutionibus* hasta 1616. En 1620 la Congregación volvió a autorizar el libro, con correcciones y censura inspirados en la línea de Osiander. Hull, Lewis William H., *Historia y filosofía de la ciencia*, Ed. Ariel, Barcelona, 1973, pp. 172 y 173.

³¹ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica, op. cit.*, p. 148. Recordemos que el sistema de Copérnico colocaba al Sol en el centro del universo, atribuyendo tres movimientos a la Tierra, un giro diario sobre su eje, una órbita anual en torno al Sol y un giro del eje de rotación de la Tierra a fin de explicar la precesión de los equinoccios, en contraposición al sistema ptolemaico que colocaba fija a la Tierra en centro del universo y el Sol y los planetas girando a su alrededor (ver el primer capítulo de este trabajo).

³² Anuo se refiere a anual.

³³ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica, op. cit.*, p. 148.

Copérnico, aunque no cita el *Revolutionibus*, es posible que haya conocido y usado los métodos astronómicos de este astrónomo.³⁴

En otro apartado de la *Libra*, Sigüenza expone su idea sobre lo que es la gravedad. En dicho apartado Sigüenza expresa: "... la gravedad de las cosas es una connatural apetencia que tienen a la conservación del todo de que son parte: de que se infiere que de la misma manera que, si se llevase algo de nuestro globo terráqueo al globo de la Luna, no había de quedarse ahí sino volverse a nosotros, así cualquiera cosa que sacasen de la Luna o de otra cualquiera estrella, había de gravitar y caer en el todo del que era parte".³⁵

Sigüenza también observa la posibilidad de que existan otros sistemas solares desconocidos precisamente en las estrellas fijas, cuyo comportamiento sería muy parecido al nuestro.³⁶ Tesis idéntica fue sostenida por Newton, quien hablando de la obra del creador menciona que pueden existir en las estrellas fijas, estrellas con la misma naturaleza que el sol y éstas a su vez son el centro de sistemas como el nuestro.³⁷

María Luisa Grobet señala que el hecho de que Sigüenza se exprese en el lenguaje propio de la escolástica o recurra a sus formas argumentativas, no le resta modernidad porque son siempre en este caso los contenidos los que nos hablan de las nuevas concepciones, aunque las formas muestren su vinculación real con el tiempo que les precedió y señala como ejemplo textos cartesianos que están escritos en lenguaje escolástico.³⁸

Otro aspecto que hay que observar es que en la *Libra*, Sigüenza concilia el sentir religioso con el saber científico ya que en ella escribe que "Dios y la naturaleza no hacen nada en vano y Dios ordena a un buen fin todos los males" expresiones y pasajes como los anteriores se encuentran en la *Libra* lo cual nos hace ver que Sigüenza no traiciona su convicción religiosa lo cual nos haría pensar que son rasgos de ortodoxia y escolasticismo, pero recordemos que Sigüenza vivió una fervorosa actividad en el ámbito espiritual, ya que él fue novicio de la

³⁴ prólogo de la *Libra ibidem*, p. 14. El precavido prefacio de Andrens Osiander sugiere la idea de que el movimiento de la Tierra puede ser tomado de manera hipotética sin significación real, sólo como criterio para el cálculo, esto es, el sistema copernicano debía ser tratado solamente como una hipótesis matemática para hacer cálculos. Es posible que lo anterior haya sido tomado en cuenta por Sigüenza. Hull, Lewis William H, *op. cit.*, p. 171.

³⁵ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica*, *op. cit.*, p. 175. La hipótesis gravitacional aquí propuesta por Sigüenza ya había sido expuesta en términos similares por fray Diego Rodríguez en 1652. La teoría de la gravitación universal fue primeramente presentada por Kepler quien la expone sin aparato matemático a principios del siglo XVII (*Opera omnia*, T. III); posteriormente por Borelli (*De motionibus naturalibus á gravitate pendentibus liber*, 1670) y finalmente por Hooke. El concepto de gravitación que manejan Fray Diego y Sigüenza no esta apoyado en ninguno de estos autores ni mucho menos de Newton, cuya obra es posterior. El tipo de conceptos empleados los acercan más al *De magnete* de Gilbert (Londres 1600) quien, apoyado en sus observaciones sobre el imán, intentó aplicarlas al movimiento de los planetas y de la tierra sujetos según él, a la "virtud magnética". Otro autor cuyos conceptos gravitacionales merecieron que Newton lo citara en la primera edición de los *Principia*, fue Kircher quien, en 1654 (dos años después que fray Diego lo propusiese) expuso su sistema gravitacional en su obra *A. Kircherii S. J. Magnes. sirve de arte magnética opuscula*. Gilbert y Kircher tal parece que fueron los autores que influenciaron a Sigüenza. (Trabulse, Elías, *Ciencia y religión en el siglo XVII*, El Colegio de México, México, 1974, p. 212). Así como expresa su idea de gravedad Sigüenza, podríamos pensar que se apoyó en Copérnico, ya que él dice de ella: "Creo que la gravedad no es mas que una apetencia natural conferida a las partes por la divina providencia del creador del universo, a fin de que puedan establecer su unidad e integridad combinándose en la forma de globo". Galileo se había expresado en términos semejantes de ella. Navarro Brotóns, Victor, "La Libra Astronómica y Filosófica de Sigüenza y Góngora", en *Carlos de Sigüenza y Góngora Homenaje 1700-2000*, Coordinadora Alicia Mayer, UNAM, México, 2000, p. 167.

³⁶ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica*, *op. cit.*, p. 175.

³⁷ Trabulse, Elías (1974). *op. cit.*, p. 82.

³⁸ Benítez Grobet, Laura, *op. cit.*, p. 43.

Compañía de Jesús en un momento en que la Orden influye grandemente en las conciencias novohispanas.³⁹

La matemática, utilizada por Sigüenza en su *Libra astronómica*, era considerada como el manto con que la naturaleza cubre sus secretos, motivo por el cual atrajo la atención de los científicos del siglo XVII, incluyendo la de Sigüenza. Sus cálculos astronómicos y el convencimiento de que todo plano cartográfico debe ir apoyado en una proyección geométrica como se ha visto en sus obras cartográficas⁴⁰, y aunque conoció la *Geometría* de Descartes (ver en su bibliografía) no la usa en dichas obras, muestran los conocimientos de Sigüenza en matemáticas. En la *Libra* Sigüenza se refiere a las matemáticas como una herramienta para lograr el conocimiento y se caracteriza por usar la demostración geométrica, que su autor pudo haber tomado de Descartes, pero también de las exposiciones de sus contemporáneos. En la *Libra* escribe con cierto alarde de la "limpieza matemática con que procedo en mis obras y en que me fundé para decir lo que dije tan absolutamente".⁴¹ Dentro de esta actitud, de los caminos que le ofrece la ciencia de la época, le da la debida importancia al método matemático. Así en la *Libra* escribe: "Sólo el que no ignora la geometría, la óptica y la trigonometría y las usa según pidieren las observaciones, está en aptitud de discurrir, aplicar y resolver".⁴² "Las experiencias y observaciones" por sí mismas no constituyen sólido fundamento para el saber. Requieren "evidencia física y matemática certidumbre".⁴³

4.4 La herramienta matemática que hay detrás de la *Libra* y en las actividades científicas de Sigüenza

Las matemáticas a las que hace referencia Sigüenza en su *Libra* tiene que ver con el cálculo de la posición del cometa que apareció en el año de 1680 con respecto a ciertas estrellas, además realiza estimaciones para saber la longitud de la ciudad de México sirviéndose de parte de las observaciones realizadas en torno al cometa. La tarea de realizar el cálculo exacto de la longitud de la ciudad de México no queda del todo terminado ya que Sigüenza esperaba a que algún matemático europeo le facilitara sus observaciones y así cotejarlas con las suyas y poder dar un cálculo más preciso de la longitud.

Don Carlos antes de entrar en los detalles matemáticos, describe la trayectoria que siguió el cometa así como la amplitud de su cauda, en relación con las constelaciones. Lo siguiente fue el cálculo de varias posiciones del cometa, lo que le dio a conocer su órbita, así como la determinación de la inclinación de ésta sobre el plano de la elíptica.⁴⁴ Para facilitar sus observaciones, Sigüenza se sirvió de un telescopio provisto de un micrómetro y de un sextante fabricado en Bruselas⁴⁵. Para las longitudes y latitudes de las estrellas, se vale del catálogo de

³⁹ Recordemos que en el Renacimiento hubo una crisis en todas las actividades humanas políticas, económicas, científicas, tecnológicas, filosóficas, etc. y desde luego las religiosas, las cuales desencadenaron el denominado movimiento de Reforma y la Contrarreforma o Reforma católica, el movimiento de reacción. La compañía de Jesús surgió de esta coyuntura e impulsó más los valores de la modernidad en relación al orden, la disciplina, el trabajo, la administración, que los de la tradición, fundamentalmente en teología y filosofía. Sus miembros, entrenados para el sacrificio y dispuestos a llevar los valores, enseñanzas y el mensaje católico a todo el mundo. Mayer, Alicia, *op. cit.*, pp. 75-77.

⁴⁰ Trabulsee, Elías (1974), *op. cit.*, p. 69.

⁴¹ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica*, *op. cit.*, p. 179.

⁴² *Ibidem*, p. 121.

⁴³ *Ibidem*, p. 159.

⁴⁴ Medina Peralta, Manuel, "Nuevos métodos astronómicos ideados por astrónomos mexicanos" en *Memorias del primer coloquio mexicano de historia de la ciencia*, Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, México, 1964, p. 135.

⁴⁵ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica*, *op. cit.*, p. 182 y 185.

Riccioli en la *Astronomia reformata*. Sigüenza calcula las coordenadas elípticas del cometa, longitud y latitud, a partir de su posición relativa con dos estrellas fijas para diversos días, para lo cual resuelve los triángulos esféricos necesarios. También calcula la latitud máxima del cometa y el ángulo de su órbita con la elíptica, para lo que supone que el cometa se mueve circularmente recorriendo un ángulo de círculo máximo.⁴⁶ En este trabajo no se pretende desarrollar el proceso matemático y astronómico que don Carlos realizó y asentó en las páginas de la *Libra*. Solo se reproducirá una parte de los cálculos para tener una idea de como procedió don Carlos en su demostración.

“El cometa, la precedente y la subsecuente de la boca del Caballo Menor formaban un triángulo rectángulo, estando el cometa boreal y algo más oriental que dichas estrellas. Entre el cometa y la subsecuente, por la retícula de subtilísimos hilos de plata que acomodo cuando de ello necesito, en el foco de la lente ocular de mi telescopio, había algo más de 9 partes, de las que entre la subsecuente y precedente hay 10, y se observó el ángulo recto a las 7.P M. Exquisitamente. Las longitudes y latitudes de las estrellas, que aquí y en lo de adelante me sirvieron, son reducidas al día primero de enero de 1681, según las hipótesis y correcciones del P. Juan Bautista Ricciolo en su *Astronomía reformada* y para saber lo que de esto tenía el cometa, cuando lo observé: sea en la presente delineación, el polo de la elíptica N, el lugar de la precedente P, el de la subsecuente O, el del cometa C. Júntense estos extremos con arcos de círculos máximos y resultarán dos triángulos, ONP y CNO para cuya fácil solución juntando CP con la línea CP, que por excusar líneas servirá (aunque no lo es) de perpendicular mutua a uno y otro triángulo, se dispondrá así:”

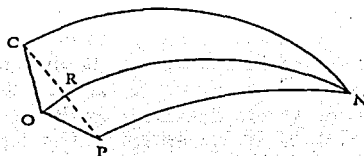


figura 1

Resolución del triángulo ONP en que se dan:

ONP	1°	0'	28''	diferencia de longitud de las dos estrellas
ON	65°	9'	0''	complemento de latitud de la estrella O
PN	64°	45'	0''	complemento de latitud de la estrella P

Búscase lo primero PON complemento a un recto de POC

Seno máximo	90°	0'	0''	C.L. 0.0000000	
Seno ₂ PNO	1°	0'	28''	9.9999330	donde Seno ₂ = coseno
Tangente PN	64°	45'	0''	10.3263980	
Tangente NR	64°	44'	47''	10.3263310	

⁴⁶ Navarro Brotóns, Víctor, *op. cit.*, p. 165.

Si de	ON	65°	9'	0''	
se restare	NR	64°	44'	47''	
quedará	RO	24'	13''		
Seno	OR	24'	13''	C.L.	2.1558775
Seno	RN	64°	44'	47''	9.9563741
Tangente	PNO	1°	0'	28''	<u>8.2452861</u>
Tangente	PON	66°	17'	55''	10.3575377

Buscase lo segundo: OP, distancia entre la estrella O y la estrella P

Seno	PON	66°	17'	55''	C.L.	0.0382692
Seno	PN	64°	45'	0''		9.9563870
Seno	ONP	1°	0'	28''		<u>8.2452188</u>
Seno	OP	59'	43''			8.2398750

Luego si CO eran nueve partes de las que OP son 10, constaría el arco entre el cometa, y la subsecuente 53' 45''. Pero habiéndolas observado, no sólo de 9, sino de algo más, con seguridad se puede poner de 54' y es más preciso⁴⁷.
De la misma manera resuelve el triángulo CNO y se encuentra para el ángulo CNO 24' 4''.

Así prosigue don Carlos a registrar sus observaciones y cálculos del cometa en los siguientes días, siempre anexando las figuras correspondientes y anotando todas las variaciones del fenómeno detalladamente, escribiendo la fecha y hora de las observaciones.

Para determinar la inclinación del plano de la órbita del cometa, Sigüenza se valió de las observaciones de los días 3 y 8 de enero, que fueron las que juzgó más precisas, procediendo como sigue:

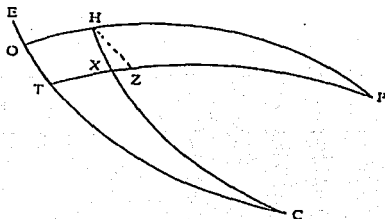


figura 2

“y para ello sea EC en esta figura, una porción de la elíptica, y P su polo; sea HC la órbita del cometa: X el lugar, en que respecto de T se vio a 3 de enero y H el que respecto de O se observó a 8 del mismo.”⁴⁸

Resolución del triángulo HPX en que se dan:

⁴⁷ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica, op. cit.*, p. 182.

⁴⁸ *Ibidem*, p. 188.

HPX = 24° 9' 24'' Diferencia de longitud del cometa
 HP = 61° 56' 30'' Complemento de su latitud el día 8
 PX = 64° 24' 38'' Complemento de su latitud el día 3

Búsqese HPX igual a TXC en el rectángulo XTC

Seno máximo	90° 00' 00''	C. L.	0.0000000
sen	HPX 24° 09' 24''		9.9601997
tan	HP 61° 56' 30''		<u>10.2732597</u>
tan	PZ 59° 42' 27''		10.2334594

Si de PX = 64° 24' 38''
 se restase PZ = 59° 42' 27''
 quedará XZ = 4° 42' 11''

sen	XZ = 4° 42' 11''	C. L.	1.0862307
sen	PZ = 59° 42' 27''		9.9362430
tan	XPH = 24° 09' 24''		<u>9.6527712</u>
tan	HXP = 78° 02' 45''		10.6742449

Resolución del triángulo XTC en que se dan:

XTC = 90° 00' 00'' por la construcción
 TX = 25° 35' 22'' latitud del cometa el día 3
 TXC = 78° 02' 45'' ángulo HXP que se halló.

Búscase lo primero, CT arco de elíptica desde T para saber el lugar del nodo C.

Seno máximo	90° 00' 00''	C. L.	0.0000000
sen	TX 25° 35' 22''		9.6362451
tan	CXT 78° 02' 45''		<u>10.6744021</u>
tan	CT 63° 53' 13''		10.3096472

Búscase lo segundo TCX ángulo de latitud máxima del cometa.

sen	CT 63° 53' 13''	C. L.	0.0000000
sen	CTX 78° 02' 45''		9.9904781
sen	TX 25° 35' 22''		<u>9.6352451</u>
sen	TCX 28° 03' 40''		9.6724820

“Es pues la latitud máxima 28° 03' 40'' y siendo CT 63° 53' 13'' y T 20° 24' 51'' de Aquario, será C 16° 31' 38'' de Piscis. Con este ángulo se examinarán las observaciones siguientes”.⁴⁹

El ingeniero Silverio Alemán observó algunos detalles que ponen de manifiesto los conocimientos de Sigüenza en trigonometría refiriéndose a la resolución de un triángulo esférico oblicuángulo, cuando se conocen dos lados y el ángulo, describiendo el artificio en la figura 1 y es descomponerlo en dos triángulos rectángulos mediante un arco de círculo máximo perpendicular a uno de sus lados, calculando primero uno de los segmentos que tal arco determina y en seguida el ángulo opuesto a este arco en el otro triángulo rectángulo, para

⁴⁹ *Ibidem*, p. 189.

terminar aplicando la relación de proporcionalidad de los senos de los lados a la de los senos de los ángulos opuestos. También hace la observación el ingeniero que no pudo consultar en tratados de trigonometría antiguos para saber si el procedimiento es el que se usaba en aquel tiempo, o bien es original de Sigüenza, ya que nada más se menciona en un tratado moderno de un tal Wells, y por último en el cálculo de la inclinación del plano de la órbita del cometa, respecto de la elíptica, mediante las dos observaciones que le dieron más confianza tampoco sigue algún procedimiento de los llamados clásicos esto es, refiriéndose a la figura 2 se observa que para conocer el ángulo en X en el triángulo HPX, usa el mismo artificio de descomponerlo en dos triángulos rectángulos, o mejor dicho, se sirve ya de las fórmulas generales que de él se deducen, para de este modo conocer el ángulo TXC opuesto por el vértice. La resolución del triángulo TCX da la longitud del nodo⁵⁰ y el ángulo en C que es la inclinación buscada.⁵¹

Lo anterior da una idea del esmero, orden y claridad con que procedió Sigüenza, o como él mismo dijo "con limpieza matemática" a realizar cálculos.

En la *Libra astronómica* podemos encontrar herramienta matemática que usó Sigüenza en sus actividades que realizó como astrónomo, al observar el cometa de 1681 y que desató la polémica que citamos al principio del capítulo. Analizaremos parte de la *Libra* para descubrir la herramienta matemática usada por nuestro novohispano; de hecho en la quinta parte de la *Libra* solo se registran datos acompañados de figuras en las cuales sitúa al cometa con respecto a las estrellas que le sirvieron de referencia para ubicar su posición en los distintos días en que lo observó y en breves citas da a conocer algunos resultados matemáticos que utilizó. A primera vista resalta el uso de la geometría, ya que realiza construcciones geométricas para refutar al Padre Kino. Una de ellas es la que se refiere a la medición de la paralaje⁵² del cometa. Kino en su *Exposición astronómica*, para estimar la posición y distancia del cometa a la Tierra había propuesto dos métodos para averiguar la paralaje, de la cual los astrónomos infieren dicha distancia. El primero, mediante observaciones realizadas simultáneamente en lugares distintos. El segundo realizando dos observaciones del cometa en una misma noche y lugar, en dos tiempos diferentes. Estos dos métodos formaban parte del arsenal habitual de los astrónomos para calcular las paralajes y están descritos prolijamente por Riccioli en su *Almagestum novum*, obra conocida por Sigüenza y Kino pero usada muy descuidadamente por éste último.⁵³

Según Kino, si el punto B (ver figura 3) representa la posición de Cádiz, D la de México (o Roma) y A el cometa: el arco CE medirá la paralaje, que será tanto mayor o menor, cuanto más alejado esté el cometa de la Tierra. Aunque esto, de forma muy general, es cierto, en particular y tal y como Kino lo plantea exige que Cádiz y México (o Roma) formen un mismo plano vertical con el cometa en el momento de la observación, lo que Kino deja de suponer sin ninguna prueba.⁵⁴

⁵⁰ Nodo es cada uno de los puntos opuestos en que corta la elíptica, la órbita de un cuerpo celeste

⁵¹ Alemán, Silverio, "El cometa de 1680 observado en México", *Revista de la Sociedad de Estudios Astronómicos y Geofísicos*, núm. 4, vol. I, 1929 p. 43.

⁵² Paralaje es el ángulo formado en el centro de un astro por dos líneas tiradas, una del centro de la Tierra y la otra del ojo del observador.

⁵³ Navarro Brotóns, Víctor, *op. cit.*, p. 156.

⁵⁴ *Ibidem*, p. 156.

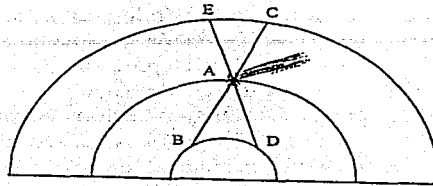


figura 3

Por otra parte, EC no mide la paralaje, ya que ésta se mide por el ángulo que forman las líneas trazadas al cometa desde el lugar de observación y desde el centro de la Tierra. Sigüenza señala lo anterior haciendo una pregunta “¿Que matemático, por moderado que sea, ignora que la paralaxis se mide por el ángulo que en el centro del cometa o estrella causan las líneas que salen del centro de la Tierra y del lugar que en ella tiene el observador?”⁵⁵ y procede a realizar una construcción geométrica, en la cual muestra lo que en palabras dijo de como debe realizarse la paralaje (ver figura 4).

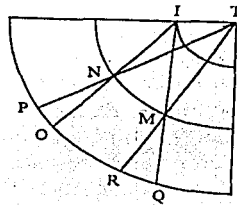


figura 4

Víctor Navarro observa que Sigüenza señala que EC habría de ser “el agregado de las dos paralajes que tiene en el vertical, según las varias alturas a que los observadores lo vieron”.⁵⁶ Tampoco es estrictamente cierto, añade Sigüenza, que a mayor paralaje mayor distancia, ya que la paralaje depende también de la altura del astro sobre el horizonte. Además debe tomarse en cuenta el efecto de refracción, que eleva la altura aparente, y que Kino no menciona. A todo lo cual debe añadirse la incertidumbre en torno a la diferencia de longitud geográfica de los dos lugares.⁵⁷

Hechas estas observaciones, Sigüenza expone el método correcto de calcular la paralaje, si se ha observado en un mismo tiempo la distancia del cometa a una estrella, y las distancias al cenit (“vértice”) de ésta, en dos lugares de latitud y longitud geográficas conocidas. Sigüenza lo

⁵⁵ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica*, op. cit. , p. 118.

⁵⁶ Navarro Brotóns, Víctor, op. cit. , p. 156.

⁵⁷ *Ibidem*, p. 156.

llama “problema grimádico” y sigue paso a paso a Grimaldi y describe los triángulos esféricos para obtener las dos paralajes del cometa en las dos verticales (ver figura 5).⁵⁸

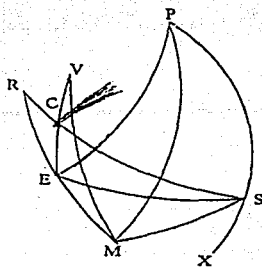


figura 5

Sigüenza analiza los datos de las observaciones y estimaciones de Kino en torno al cometa y encuentra que fueron realizadas con poco esmero, acaso con exceso de confianza de su superioridad científica. Kino trata de probar que si el cometa está en el cielo del Sol y su cola abarca 60° , esta debe medir 1150 radios terrestres, es decir la distancia del Sol a la Tierra. Sigüenza prueba lo incorrecto de la argumentación de Kino mostrando que, suponiendo que la cola del cometa abarcara 1150 radios terrestres y estando el cometa a una distancia inferior a la Luna, la cola podría aparecer abarcando 178° y para ello dibuja la siguiente figura:

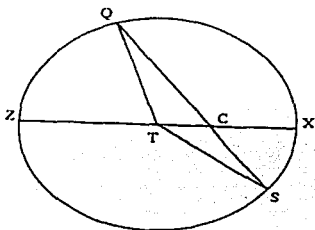


figura 6

donde ZXS es el plano en que se halla el centro del Sol en S, el centro de la cabeza del cometa en C y el eje de su cauda; ZXT es la intersección de este plano con el plano horizontal a ese plano, esto es, dichos planos son perpendiculares. La posición del Sol está un grado más abajo de la intersección ZTX y apartado de la Tierra en T 1117 radios terrestres. Sigüenza da una distancia de 50 radios terrestres entre el cometa y la Tierra. De esta manera forma el triángulo TCS con los siguientes datos:

⁵⁸ Este problema está descrito en el *Almagestum novum* de Riccioli y lo atribuye a su amigo Francisco M. Grimaldi, *Ibidem*, p. 156. No fue posible obtener información detallada sobre dicho problema.

ende sería más corta. Con las correcciones anteriores, Sigüenza hace las siguientes observaciones en la figura de Kino:

MLR = círculo mayor que delinea el cielo del apogeo del sol y determina su mayor distancia al entro de la Tierra.

FGHI = círculo mediano formado por la distancia media entre el Sol y la Tierra y es de 1150 radios terrestres.

OXN = círculo menor el cual es delineado por el perigeo del Sol, cuya distancia a la Tierra es de 1117

y tomando la hipótesis de Kino de que la cauda del cometa subtiende un ángulo de 60° y de que el cometa está casi en conjunción con el Sol, Sigüenza coloca el cometa en T.

Ahora afirma lo siguiente:

“Si OA es de 1117, TA será mucho menor; y si TX es igual a TA, no teniendo TA 1150 semidiámetros, tampoco los tendrá TX”.⁵⁹

Sigüenza se auxilia de sus observaciones para encontrar la distancia entre el cometa y el Sol. De su observación del 30 de diciembre, el cometa estuvo a 301° de la equinoccial⁶⁰, y el Sol a 10° de Capricornio. Así con estos datos, dibuja el siguiente triángulo oblicuángulo esférico (figura 8)

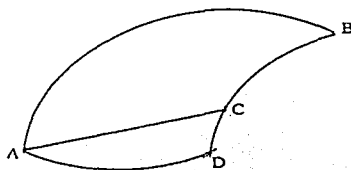


figura 8

de donde $AB = 80^\circ$; $CB = 59^\circ$; ángulo $ABC = 23^\circ 30'$

Los valores anteriores los calculó con base en las observaciones de las posiciones de los astros que intervinieron en la observación del cometa en aquel día. A Sigüenza le interesaba saber la distancia AC donde en A se hallaba el Sol y en C el cometa, y para ello utiliza las siguientes fórmulas de trigonometría esférica:

$$\tan \frac{1}{2}(\alpha - \beta) = -\frac{\operatorname{sen} \frac{1}{2}(a - b)}{\operatorname{sen} \frac{1}{2}(a + b)} \tan \gamma$$

$$\tan \frac{1}{2}(\alpha + \beta) = -\frac{\operatorname{cos} \frac{1}{2}(a - b)}{\operatorname{cos} \frac{1}{2}(a + b)} \tan \gamma$$

⁵⁹ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica*, op. cit., p. 136.

⁶⁰ Equinoccial es uno de los dos puntos de intersección de la eclíptica con el ecuador celeste; a lo largo del año se presentan dos: el de primavera el 21 de marzo y el de otoño el 22 de septiembre.

las cuales utiliza para hallar la suma $(\alpha + \beta)$ y la diferencia $(\alpha - \beta)$, y sustituirlas en la siguiente fórmula

$$\tan \frac{1}{2}(\alpha - \beta) = -\frac{\operatorname{sen} \frac{1}{2}(\alpha - \beta)}{\operatorname{sen} \frac{1}{2}(\alpha + \beta)} \tan \frac{1}{2}(c)$$

que es una de las llamadas analogías de Neper.

De esta forma encuentra que la distancia que hay entre el cometa y el Sol es de $30^\circ 17'$. Aunque no es explícito el uso de los logaritmos en la *Libra*, menciona su uso. De esta manera encuentra el ángulo TAQ del triángulo de la figura 7. En ella, Sigüenza afirma que “el ángulo XTA es de 60° ya que es el ángulo de un triángulo equilátero y el ángulo ATQ será, por la proposición 13 del primer libro de los *Elementos* de Euclides de 120° y el ángulo TQA será por la proposición 32 del mismo libro, de $29^\circ 43'$.”⁶¹ De esta manera obtiene los siguientes elementos del triángulo ATQ (figura 9): ángulo ATQ = 120° ; ángulo TQA = $29^\circ 43'$; ángulo QAT = $30^\circ 17'$ y la distancia QA = 1117 (que es la que representa la distancia de la Tierra al Sol). Sigüenza observa que este triángulo puede resolverse con la ayuda de la ley de los senos si dos de los tres elementos conocidos son un lado y su ángulo opuesto.

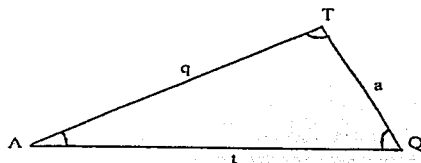


figura 9

Así encuentra que el lado AT mide 639 radios terrestres, que es la distancia que hay entre la Tierra y el Sol, cuando éste se encuentra en el perihelio

Se observa que manejó la geometría, pues fue una de las ramas de la matemática que más se cultivó en su época y estaba fundamentada en las traducciones y comentarios hechos a la obra de Euclides, los *Elementos* la cual cita en el apartado 278 usando uno de los teoremas para resolver el problema anterior de resolver el triángulo y así demostrar las dimensiones que alcanzó la cola del cometa. Además utilizó la trigonometría tanto plana como esférica, además de los logaritmos ya que éstos se habían convertido en una herramienta indispensable para los astrónomos.

La geometría también hace su aparición en la *Exposición astronómica del cometa* de Kino, pero a diferencia de la *Libra*, sólo expone el uso de la geometría euclidiana y la aritmética para explicar sus observaciones, lo cual ello no significa que Kino haya desconocido las demás ramas de la matemática que predominaban en su tiempo. Comparando las obras de Sigüenza y de Kino sobre el uso de la matemática que se hace en ellas, se puede decir que Sigüenza aprovecha toda la herramienta matemática disponible, aplicable a este problema concreto de la trayectoria

⁶¹ Aquí parece que hay un error, ya que lo que está justificando Sigüenza no corresponde a lo que dice el postulado. Aquí se tiene la misma situación de hallar el ángulo formado al prolongar el lado de un triángulo. Se revisó la primera impresión de la *Libra* y así aparece. Creo que el error se debió al transcribir el manuscrito a las prensas.

del cometa. En la *Exposicion astronomica del cometa* de Kino sólo aparece un esquema en el cual, Kino bosqueja la aparente trayectoria del cometa a través de las constelaciones, además de diez figuras, de las cuales, siete están dibujadas con base en conocimientos geométricos euclidianos. Dichas figuras ayudan a Kino en sus argumentos en torno al cometa en lo referente a su posición, distancia y tamaño de la cola. No aparece en la obra de Kino el uso sistemático de cifras que nos refieran a las mediciones hechas al cometa y permita entrever los cálculos realizados, como lo hizo Sigüenza en la *Libra*.

La teoría combinatoria fue otra de las ramas de la matemática que fue conocida por Sigüenza. La usó para hacer un cálculo que presentó en la *Libra* para establecer las posibles influencias de los planetas y sus satélites sobre la Tierra, debido a sus diversas posiciones ocupadas por en la bóveda celeste en caso de que los supuestos astrológicos fueran ciertos, encontrando que ese número resulta igual a 402 363 368 000, siendo un número muy grande como él reconoce, hace imposible determinar esas influencias.⁶² También hace uso de la teoría de las proporciones.⁶³

Otra obra astronómica de Sigüenza que poseía un tratamiento matemático de los fenómenos celestes, aparte de la *Libra* es el *Belerofonte matemático*.⁶⁴ Esta obra no se ha hallado, pero se ha sabido que en ella utiliza la trigonometría y logaritmos para el cálculo de los paralajes, según lo dicho por Sigüenza en la *Libra*.⁶⁵ Otras dos obras, también perdidas, son el *Tratado sobre los eclipses de sol* y el *Tratado de la esfera*; de ellas no se ha encontrado vestigio alguno para tener una idea de su contenido matemático, sin embargo el mismo título ya implica dicho tratamiento. Sigüenza escribió también una *Ciclografía* la cual se identifica con el *Año mexicano* que son títulos de un mismo opúsculo en el cual, haciendo uso de métodos astronómicos y matemáticos, calculó la cronología de los indios mexicanos ajustándose a la de la era cristiana.⁶⁶

Sigüenza fue influenciado en los métodos geométricos por el padre Zaragoza y por el padre fray Diego Rodríguez, para el tratamiento de los fenómenos celestes. De las obras del padre Zaragoza conocidas por Sigüenza está la *Esfera celeste*, la cual es un tratado de astronomía y que de hecho cita en la *Libra*. De las obras de fray Diego, pudo haber conocido el manuscrito *Doctrina general, repartida por capitulos, de los eclipses de Sol y Luna*.⁶⁷ Si bien en la *Libra* Sigüenza no menciona alguna obra de fray Diego, si reconoce su intelecto en la astronomía y en las matemáticas ya que lo menciona en la *Libra* al citar la observación de un eclipse: "se que el reverendo padre fray Diego Rodríguez del Orden de Nuestra Señora de la Merced, excelentísimo matemático y muy igual a cuantos han sido grandes en este siglo, y predecesor mío en la regencia de la real cátedra de matemáticas, y Gabriel López de Bonilla, astrólogo mexicano, usaron (no sé mediante que observaciones) de las Tablas Tychonicas del *Suplemento* de Juan Antonio Magino..."⁶⁸ Lo anterior nos hace pensar que don Carlos conoció la *Doctrina general*, ya que en ella hace uso no solo de las tablas de Magini sino de otros astrónomos. Por otra parte no sería difícil que Sigüenza hubiese sido discípulo de fray Diego. El cotejo de las fechas en que éste último impartió su cátedra de astrología, coinciden con los estudios universitarios de don Carlos. De lo anterior pensamos que conoció el material matemático que fray Diego manejó y que dejó plasmado en sus manuscritos que se revisarán más adelante y, que si bien don Carlos no siguió su estudio teórico, si empleó parte de ese material en las aplicaciones, sobre todo en astronomía.

⁶² Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica*, op. cit., p. 175.

⁶³ *Ibidem*, p. 180.

⁶⁴ Trabulse, Elías (1974), op. cit., p. 70.

⁶⁵ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica*, op. cit., p. 179.

⁶⁶ Trabulse, Elías (1974), op. cit., p. 204.

⁶⁷ *Ibidem*, p. 70.

⁶⁸ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica*, op. cit., p. 181.

Recordemos que en la Nueva España, la mayoría de lo que se considera ciencia estaba destinada a las aplicaciones prácticas y la resolución de los problemas que eran propios de estas tierras.

Otra obra que es mencionada por Sigüenza en la *Libra* es el *Curso matemático* de Juan de Caramuel; la mitad de esta obra trata de geometría. Esta rama de la matemática fue estudiada y usada por Sigüenza para resolver problemas prácticos, sobre todo de agrimensura, por la problemática de las dimensiones de los terrenos, lo cual motivó a la producción de obras sobre esta actividad.

La necesidad de localizar de manera exacta los objetos celestes ha inducido al hombre desde la antigüedad a establecer sistemas de referencia. En el trabajo de Sigüenza se observa esta necesidad, por lo cual hace uso del concepto de esfera celeste. Este concepto involucra el conocimiento de nociones de geometría esférica. Estableciendo cierta analogía con elementos de la geometría del plano, es decir traduciendo recta por geodésica, segmento por arco, ángulo por ángulo esférico etc., a Sigüenza le permitió construir los triángulos esféricos, al igual que la geometría elemental que nos enseña a construir gráficamente un triángulo cuando se conocen ciertos elementos y posteriormente utilizar la trigonometría plana para determinar la medida de los elementos desconocidos; para el caso de triángulos esféricos, la trigonometría esférica es la que se aplica en este campo. Teniendo en cuenta esto, Sigüenza sabía que un triángulo esférico está formado por arcos de círculos máximos; los arcos de círculo máximo son los lados del triángulo y sus puntos de intersección son los vértices del triángulo. Los ángulos del triángulo son los ángulos esféricos formados por los lados del triángulo y las palabras isósceles, escaleno equilátero, triángulo rectángulo, oblicuángulo etc., tienen el mismo significado cuando se aplican a triángulos esféricos. También sabía de las propiedades que tienen los triángulos esféricos⁶⁹ y en particular las del triángulo polar las cuales fueron descubiertas por Willebrord Snell alrededor de 1626.

Saber la geometría de la esfera celeste, le permitió a Sigüenza situar la posición del cometa con respecto a la elíptica y la posición de los otros cuerpos celestes que estuvieron involucrados en las distintas observaciones.

La *Libra* también nos revela que Sigüenza tenía conocimientos de óptica, ya que critica que Kino no tome en cuenta la refracción, pues en lo relativo a la distancia aparente del cometa, su variación o no, depende de la paralaje y la refracción, además del movimiento propio del cometa. Sigüenza dice que en la

“ciencia de las refracciones es teorema demostrado que en una misma altura verdadera, el astro, cometa o fenómeno más próximo a la Tierra tiene mayor refracción por que el ángulo de la inclinación causado por el rayo directo y la perpendicular a la tangente de la atmósfera terráquea (es decir, el ángulo de incidencia), es entonces mayor”.⁷⁰

De aquí se infiere que Sigüenza se ocupó de la óptica en sus aspectos geométricos. Observaciones geométricas como la propagación rectilínea de la luz y la igualdad de los ángulos de incidencia y de reflexión eran ya conocidos en ese entonces, gracias a los escritos sobre óptica atribuidos a Euclides y Ptolomeo.⁷¹ En ellos la óptica revestía principalmente la forma de demostraciones matemáticas, incluso cuando se describían operaciones experimentales, eran casi indiscernibles por las construcciones geométricas que les daban una interpretación racional. No se ha hallado algún libro de óptica de alguno de los dos griegos antes mencionados o de algún jesuita erudito que se haya dedicado a la óptica geométrica y que haya pertenecido a nuestro

⁶⁹ Algunas propiedades son: cualquier lado de un triángulo esférico es menor que la suma de los otros dos lados; la suma de los lados de un triángulo esférico es menor que 360°; la suma de los ángulos de un triángulo esférico es mayor que 180° y menor que 540°.

⁷⁰ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica*, op. cit., p. 120.

⁷¹ Cetto, Ana María, *La ciencia desde México*, num 32, SEP/FCE, México, 1987, p. 69 y 70.

novohispano, pero el testimonio sobre el conocimiento de óptica escrito en la *Libra* confirma la hipótesis de que tuvo conocimientos de óptica geométrica por lo cual pudo tener algún libro sobre el tema. Nuevamente aquí la geometría aborda a esta disciplina para la resolución de problemas.

Al inicio de la *Libra*, Sigüenza escribió: "...iré por diverso camino que será el que me abre la filosofía para llegar al término de la verdad".⁷² El diverso camino que es distinto a la retórica, a la argumentación sin base acorde, veraz y sin fundamento es el camino del método científico. El nuevo camino que abre la filosofía es el del método del que se ofrecen en la *Libra* algunos aspectos fundamentales que muestran hasta cierto punto la modernidad de Sigüenza, pero también se debe puntualizar que Sigüenza nunca pretendió elaborar un método, ni desarrollarlo teóricamente en forma sistemática; simplemente sigue las corrientes modernas que lo propusieron y lo usa como instrumento para adquirir conocimientos ciertos.⁷³

El método en la ciencia permite precisar mejor el objeto de estudio y es garantía de verdad. La recurrencia al método pone de manifiesto que en la astronomía, de nada valen los dogmas; lo que verdaderamente importa es la comprobación, haciendo nuevamente alusión a la sentencia asentada en la *Libra*: "... ni su reverencia, ni otro algún matemático aunque sea el mismo Ptolomeo puede asentar dogmas en estas ciencias, porque en ellas no sirve cosa alguna la autoridad sino las pruebas y la demostración..."⁷⁴ El conocimiento que se establece al abrigo del método tiene el rango de aplicación y utilidad que caracteriza a la ciencia moderna. En principio la tendencia general de los renacentistas, fue dar con un conocimiento matemático de las leyes de la naturaleza, útil por permitir su manejo; útil para la solución de problemas, las aplicaciones concretas y la predicción científica, todo lo cual formará parte del nuevo "paradigma" científico.⁷⁵

De todas las citas que hace Sigüenza en la *Libra* las que más destacan en número son las del jesuita Ahtanasio Kircher a quien parece que leyó y conoció con profundidad. Empero la *Libra*, en conjunto, va con la tradición hermética y apunta a una nueva era caracterizada por un "racionalismo desmitificador" como le llama Trabluse.⁷⁶ El hermetismo ejerció influencia en la Nueva España en todas las ramas del saber por lo cual Sigüenza no escapó a esta doctrina. Según Trabluse el hermetismo:

tendió un puente entre la ortodoxia y el nuevo pensamiento. Gracias a estas especulaciones y doctrinas, Sigüenza y Góngora, Sor Juana y otros pudieron acceder o al menos vislumbrar, sin romper enteramente con su medio y con sus propias creencias los mundos mentales que abrían la física y la astronomía.⁷⁷

Otra observación que conviene hacerle a la *Libra* es reconocer que no es un tratado en donde todos los argumentos o las exposiciones sigan un discurso puramente científico. Existen ocasiones en las cuales se notan las mismas fallas que imputa a los tradicionales, o por que procede de manera espontánea, sin observaciones, sin cuidado por los datos que obtiene y a veces no usa el proceso matemático, echando mano del ridículo, de la ironía mordaz, y de la burla, pero aun así no deja de tener su importancia, ya que como señala José Gaos es, "en parte fundamental

⁷² Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica, op. cit.*, p. 11.

⁷³ Moreno Montes de Oca, Rafael, "El método experimental y matemático en Sigüenza y Góngora", en *Memorias del primer coloquio mexicano de historia de la ciencia*, Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, México, 1964, p. 123.

⁷⁴ Sigüenza y Góngora, *Libra astronómica y filosófica, op. cit.*, p. 123.

⁷⁵ Benítez Grobet, Laura, *op. cit.*, p. 71.

⁷⁶ Trabluse Atalá, Elías, "Sor Juana y Athanasius Kircher" en *El hermetismo y Sor Juana Inés de la Cruz. Orígenes e interpretación*, México, 1980, p. 36.

⁷⁷ *Ibidem*, p. 54.

por ser expresión de una parcela del pasado histórico literalmente crucial: de transición, a una entre dos edades y entre dos mundos, las Edades Media y Moderna, el Viejo y el Nuevo Mundo. La *Libra* es expresión del cruce de ambas transiciones porque ella misma es caso o punto del propio cruce, por intermedio de su autor”.⁷⁸

4.5 Las matemáticas en sus actividades cartográficas y topográficas

Sigüenza realizó diversas cartas geográficas y planos de la Nueva España y de las regiones septentrionales del virreinato. De todos estos trabajos sólo se conocen seis, los cuales ya se reseñaron en el capítulo tres, dos de ellos están perdidos y se referían a mapas de la ciudad de México. Los otros cuatro son el del itinerario de Alonso de León, el de la Bahía de Panzacola, el del Valle de México y el general del Virreinato, siendo este último el más utilizado.

El mapa que marca el itinerario de Alonso de León adolece de ciertas limitaciones pues fue hecho con base en los datos suministrados por el capitán, en cambio el mapa de Panzacola fue hecho en 1693 con las observaciones y mediciones propias de Sigüenza y en él resalta la precisión, pues configura con claridad y detalle los accidentes geográficos. Sigüenza mismo hizo su levantamiento cartográfico.

Sigüenza de alguna manera empleó alguna proyección cartográfica para realizar sus mapas. La proyección cartográfica, o sea el método matemático para representar la superficie parcial o total del elipsoide o de la esfera sobre un plano, establece una dependencia analítica entre las coordenadas geográficas de los puntos del elipsoide terrestre y las coordenadas rectangulares de los mismos en el plano. Esta dependencia puede ser expresada por medio de dos ecuaciones del tipo:

$$x = f_1(\varphi, \lambda) \quad y = f_2(\varphi, \lambda)$$

donde φ , λ son las coordenadas de latitud y longitud respectivamente, que permiten calcular por las coordenadas geográficas φ , λ del punto que se representa, las coordenadas rectangulares x , y de la representación. Hoy día este es el procedimiento analítico habitual para elaborar un mapa, pero en el siglo XVII su elaboración era esencialmente por proyección geométrica, es decir correspondencias geométricas que pueden obtenerse mediante una construcción perspectiva, a partir de un punto de vista convenientemente elegido.

Dado que la geometría era una herramienta muy útil para resolver problemas prácticos en ese entonces, su uso en cartografía fue a través del concepto de proyección geométrica. En geometría elemental se comprende por proyección de un punto A sobre una recta m (ver figura 10), al pie A' de la perpendicular trazada desde A sobre m.

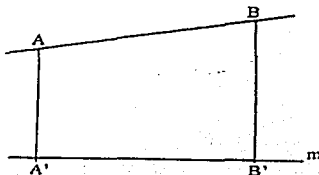


figura 10

⁷⁸ Gaos José, “prólogo” a Sigüenza y Góngora, *op. cit.*, p. x.

Un segmento rectilíneo AB se proyecta según A'B' que es el segmento que determina las proyecciones de los extremos de aquel. Del mismo modo se llama proyección de un punto sobre un plano al pie de la perpendicular bajada desde el punto sobre el plano. En las proyecciones planas una serie de puntos sobre un plano pueden ser proyectados sobre un segundo plano eligiendo cualquier punto de vista, focal u origen y construyendo líneas desde el punto de vista que pasen a través de los puntos sobre el primer plano y corten con los del segundo plano. Este tipo de proyección es uno de los más conocidos ya que imita la función del ojo.

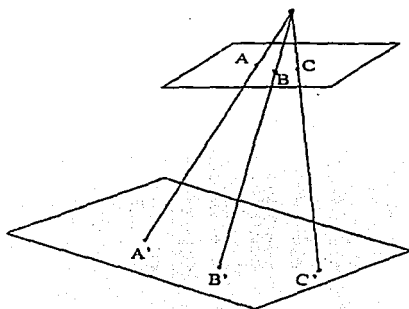


figura 11

Así las proyecciones cartográficas de los siglos XVI y XVII son proyecciones geométricas que fueron obtenidas mediante una construcción perspectiva, a partir de un punto de vista convenientemente elegido. Los cartógrafos eligieron como punto de vista el centro de la Tierra, aunque puede ser el punto antípoda al punto de tangencia de la superficie de la Tierra con la superficie con la que se va a realizar la proyección. Las líneas que parten del centro de la Tierra pasarán a través de la superficie del plano determinando en él, los de la esfera que representa o reproduce. Se llama centro de proyección al punto o línea que representan sobre el plano el contacto de la superficie de proyección con la esfera proyectada (ver figura 12).

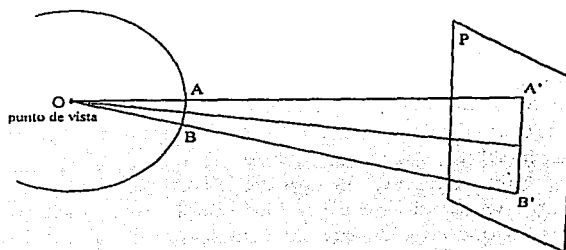


figura 12

Tomando en cuenta lo anterior, las diferentes formas de construir las proyecciones cartográficas de la superficie de la Tierra (considerándola esférica) a un plano hoy día reciben distintos nombres: central, estereográfica y ortográfica (ver figura 13).

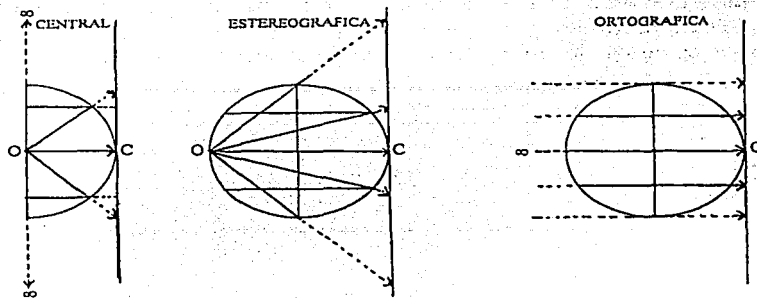


figura 13

En el siglo XVII existía un número considerable de proyecciones, pero debido a lo disperso del material cartográfico elaborado por Sigüenza, no se tienen considerables investigaciones para evaluar el tipo de proyección utilizada por nuestro novohispano. Entre las proyecciones que existían se encuentran la proyección estereográfica (Hiparco), ortográfica (Hiparco), la proyección de Guillaume Postel, Ortelius y Mercator (las tres del siglo XVI), y proyección cónica (Hiparco, perfeccionada por Ptolomeo). No entraremos más en detalles sobre la cartografía lo que importa aquí es señalar que la herramienta matemática que seguía predominando es la geometría y es claro el uso de ella por Sigüenza en la construcción de sus mapas, ya que estuvo al tanto de estas cuestiones prácticas, además es muy posible que haya conocido la proyección de Mercator (la cual es una proyección central), ya que esta proyección fue muy usada en los mapas del siglo XVII.

Otra actividad que Sigüenza realizó y que estaba unida con la cartografía, es la topografía. Hoy día topografía y cartografía están bien diferenciadas, pero en el siglo XVII eran una sola actividad por lo cual Sigüenza tenía también conocimientos de topografía. Lo anterior se ve reflejado al hacer la determinación planimétrica de algunos de los puntos de la superficie de la bahía de Panzacola para ser utilizados para un encuadre general de ella. Para ello Sigüenza hecho mano de lo que hoy se conoce como agrimensura, triangulaciones y nivelaciones. Estos métodos ya se usaban desde el siglo XVI sin el nombre que hoy tienen.

Existen obras que refuerzan que Sigüenza conoció estas actividades, como tal es el caso de su obra titulada *Reducciones de estancias a caballerías de tierra, hechas según reglas de aritmética y geometría*, mencionada en el capítulo tres, la cual fue quizás un tratado de agrimensura, como muchos que existieron a mediados del siglo XVII por los conflictos de los linderos de terrenos. Una obra que surgió durante ésta época fue la de Joseph Saenz de Escobar titulada *Geometría práctica y mecánica dividida en tres tratados, el primero de medida de tierras, el segundo de medida de minas, el tercero de medida de aguas* reseñada en el capítulo dos, cuyo contenido nos dará un marco de referencia del material matemático que pudo tener y manejar Sigüenza en su obra, *Reducciones de estancias a caballerías de tierra, hechas según reglas de aritmética y geometría*, la cual está actualmente perdida. Cada apartado de la obra de

Saenz está dividido por capítulos. A continuación se reseña el contenido del apartado medida de tierras, para tener una idea de los temas que maneja.⁷⁹ Los tres primeros capítulos tratan de los motivos por los cuales se concibió la obra, una sección la destina a la geometría elemental de líneas y superficies, ángulos y figuras, lo que parece ser una introducción sobre geometría, antes de abordar su aplicación a la medida de terrenos. En esta introducción aparecen las definiciones de línea recta, línea curva, ángulos, rectas paralelas, perpendiculares, etc. para luego pasar a las construcciones geométricas que se requieren. Después aborda las propiedades del triángulo, cuadrado y pentágono y cómo localizar su centro. También trata de las figuras inscritas y circunscritas en un círculo. Los restantes capítulos tienen los siguientes títulos:

4. De la variedad de formas que hay en las tierras en que han de hacer las medidas que se ofrecen.
5. De las superficies o áreas de las tierras en que se hacen las medidas.
6. En que se prosigue la materia del pasado y se trata de la área, o superficie de los triángulos.
7. Que trata de lo mismo que el antecedente con la declaración de la forma y resolución de los triángulos esféricos y medidas de sus áreas o superficies.
8. Que trata del modo de ajustar la longitud y asistencia de las líneas o trazos de los triángulos y reducción de unos a otros para sacar con más facilidad la cuenta de sus áreas o superficies.
9. Que trata de la superficie de los círculos y parte de los círculos que se llaman segmentos.
10. Sobre el modo de medir los campos que llaman irregulares; polígonos que se componen de muchos lados y figuras varias para saber la área de todo el campo.
11. De los sitios de ganado mayor y menor y sus medidas.
12. De la medida de las caballerías de tierra y suertes de tierras; sus áreas o superficies.
13. Del aumento y disminución de algunas figuras por lo que pueden servir para las medidas de tierra.
14. Del modo de medir la longitud, latitud y altura de las tierras u otros lugares por estilo mecánico y fácil.
15. De los instrumentos que necesita y convenga tener un medidor y la noticia que ha menester de variar medidas que se usan en las ciudades.

Los otros dos apartados contienen, al igual que este primer apartado, una extensa aplicación a la geometría para resolver problemas prácticos referentes a la medición de minas y al cauce del agua.

Algunos problemas que aborda la obra son el problema de encontrar distancias entre puntos inaccesibles pero visibles como se muestra en la figura 14

⁷⁹ Saez de Escobar, Joseph, *Geometría práctica y mecánica dividida en tres tratados*, México, 1690. Manuscrito que se encuentra en el fondo reservado de la Biblioteca Nacional de México con signatura 531.7 (02)

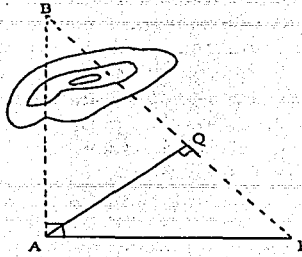


figura 14

cuya solución es trazar AP perpendicular a la línea AB y bajando de A la normal AQ a la línea BP; se miden las distancias AP, AQ y PQ y se calcula la distancia AB. Comparando los triángulos semejantes BAP y AQP se encuentra:

$$\frac{AB}{AP} = \frac{AQ}{PQ} \quad \therefore \quad AB = AQ \frac{AP}{PQ}$$

Otro problema similar al anterior es determinar la distancia AB al punto inaccesible pero visible B (ver figura 15)

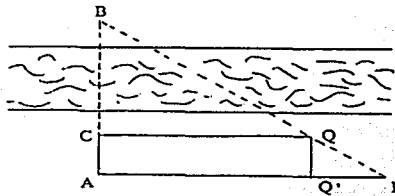


figura 15

Se trazan AP y CQ perpendiculares a la línea AB y se miden las distancias AP, CQ y AC. Los triángulos semejantes BAP y QQ'P permiten establecer la proporción

$$\frac{AB}{AP} = \frac{QQ'}{Q'P}$$

en la figura se observa que $QQ' = AC$ y $Q'P = AP - CQ$ y sustituyendo estas expresiones en

$$\frac{AB}{AP} = \frac{QQ'}{Q'P} \quad \text{se obtiene} \quad \frac{AB}{AP} = \frac{AC}{AP - CQ} \quad \text{y despejando AB se obtiene el valor deseado}$$

En lo referente a los problemas de medir terrenos de forma trapezoidal, se descompone el terreno en triángulos y de esta manera sólo se calcula el área de cada triángulo y después se suman las áreas para hallar el área total del terreno. Si el terreno es de forma poligonal

cualquiera, nuevamente se descompone el terreno en triángulos y se prosigue como en el problema anterior. Una variante del método anterior es descomponer el terreno poligonal en triángulos y trapecios sobre una base o alineación recta que una dos vértices, en los que fácilmente se pueden medir sus bases y alturas y obtener inmediatamente la superficie total del terreno. Este procedimiento depende más que nada de la forma del terreno (véase figura 16)

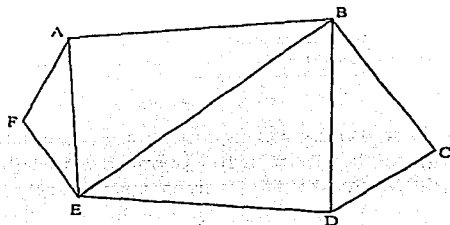


figura 16

También se expone la elaboración de mapas orográficos, topográficos, iconográficos y el manejo del instrumental de medición. Analiza también algunos problemas trigonométricos y los métodos geodésicos de triangulación. También discute dos de los más arduos problemas enfrentados por los geómetras y que resultaban del gusto de la época: la cuadratura del círculo y de la trisección de un ángulo. También estudia las medidas de longitud utilizadas en tierra y sus conversiones. Después da métodos de medición de minas, métodos de hacer mapas subterráneos, métodos de conducción de aguas, su medición y medidas utilizadas y algunos problemas de hidráulica.

Los problemas anteriores nos dan una idea de la aplicación de la herramienta matemática que manejó Sigüenza que básicamente fue geometría y trigonometría y que probablemente utilizó en su obra *Medidas de tierras* y para delinear y hacer el levantamiento planimétrico del plano de la bahía de Panzacola. Para realizar el levantamiento planimétrico debió de recurrir al método de triangulación. Dicho método utiliza métodos geométricos y trigonométricos para construir y calcular lados y ángulos de triángulos que son utilizados para las determinaciones planimétricas. Este método ya existía en el viejo continente, y fue muy usado para trabajos topográficos, el cual fue ideado por Snell. Este método tuvo su origen en el hecho de que era más sencillo medir ángulos que medir distancias. La actividad topográfica tuvo auge debido a que había que hacer levantamientos topográficos de las nuevas tierras descubiertas.

4.6 Estimación de la herramienta matemática usada por Sigüenza a partir de otras fuentes.

Hemos visto hasta ahora que las ramas de la matemática más usadas por nuestro novohispano para resolver problemas prácticos han sido la geometría, la trigonometría y la aritmética. En su condición de profesor de la cátedra de astrología y matemáticas es muy posible que haya llevado a cabo la enseñanza de dichas ramas de la matemática. No fue posible hallar información acerca del plan de estudios de dicha cátedra, pero se ha sabido que fue fundada a semejanza de las universidades del viejo continente, sobre todo las españolas. En los estatutos relativos a la enseñanza de la astronomía en la Universidad de Salamanca, se consiguió el plan de estudios correspondiente.⁸⁰

De la cathedra de matemáticas y astrología. En la cathedra de mathematicas el primer año léase en los ocho meses de la Geometria los seis libros primeros de Euclides y la perspectiva del mismo y la Arithmetica y la Arithmetica con las raizes quadradas y cubicas declarando la letra 7.º, 8.º y 9.º libro de Euclides, y la Agrimensura, que es la Arte de medir la area de qualquier figura plana. En la sustitucion los tres libros triangulis spheris de Theodosio. El segundo año se a de leer sola la Astronomia comenzando por el Almagesto de Ptolomeo y habiendo leydo el primer libro léase el tratado de singnis rectis, el de Triangulis rectiliniis y spheris por Christophoro Cavo o otro moderno. Despues de leydo el libro 2.º se an de enseñar a hacer las Tablas del primer movil, como son las de los direcciones de Joan de Monteregio, o de Erasmo Rheinholdo. Acabado el libro 2.º con sus adherentes lease la Theorica del sol por Purbachio y luego todo el libro terçero del Amagesto y luego el uso desto por las tablas del Rey don Alonso. Lo mismo se haga en los demas libros leyendo primero la Theorica de Purbachio despues la letra de Ptolomeo y lo ultimo lo mismo por las tablas del Rey don Alonso y con esta doctrina se enseñen a hazer ephemerides. El 2.º quadrienio lease a Nicolao Copernico y las tablas pluternicas en la forma dada y en el tercero quadrienio a Ptolomeo y asi consecutivamente. En la sustitucion la gnomica que es la arte de hazer relojes solares. El 3.º año lease la Geographia de Ptolomeo y la Cosmpgraphia de Petro Apiano y arte de hazer mapas, el Astrolabio, el Planisferio de don Juan de Rojas, el radio astronómico, la arte de navegar. En la sustitucion la arte militar. El 4.º año la sphaera y la Atrologia judiciaria por el quadripartito de Ptolomeo y por Alcabisio, de Rebolotionibus annorum mundi, de nativitatibus lo que se permite y de descubito aegrotantium, en la sustitucion Theoricas de Planetas.

Observando detenidamente el plan de estudios anterior, encontramos que existen varios temas que fueron abordados por Sigüenza, en sus actividades como cosmógrafo agrimensor y cartógrafo, lo cual hace suponer que haya habido alguna similitud con el plan de estudios de la Real y Pontificia Universidad por lo que la impartición de las matemáticas fue en sus ramas de la aritmética, geometría y trigonometría. Suponemos que estudió los mismos temas matemáticos que fray Diego, quién también ocupó esta cátedra y que además, como se señaló líneas arriba, reconoció el intelecto de fray Diego. Reseñando la obra de fray Diego Rodríguez quién, según Trabulse,⁸¹ fue la figura principal para el desenvolvimiento científico anterior a Sigüenza.

Fray Diego Rodríguez, ocupó la cátedra de astrología y matemáticas de la Real Universidad en 1637 y cuyas obras han llegado hasta nosotros afortunadamente nos darán mucho de que hablar y por lo que nos permitirá ver el legado que posiblemente tomó Sigüenza de él.

⁸⁰ Moreno Corral, M. A y Berron Mena, T., "Sigüenza y Góngora: un científico de transición", *Quiqu*, vol 13, núm 2, 2000, p. 163.

⁸¹ Tralulse Atalá, Elías. "La obra científica de Carlos de Sigüenza y Góngora 1667-1700" en: *Actas de la Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y Tecnología*, SMCHT, vol. V, 1989, p. 223.

Nuevamente encontramos similitud entre los temas abordados en fray Diego y el plan de estudios de la cátedra de astronomía de la universidad de Salamanca. Las obras de fray Diego son las siguientes:⁸²

1. *Tractatus proemiabium mathematices y de geometría.*
2. *De los logaritmos y la aritmética.*
3. *Tratado de las equaciones. Fabrica y uso de la tabla algebraica discursiva.*
4. *Modo de calcular cualquier eclipse de sol y de luna según las tablas arriba puestas del movimiento de sol y luna según Tycho.*
5. *Doctrina general repartida por capítulos de los eclipses de sol y luna, y primero de los de sol que suceden en los 90 grados de elíptica sobre el horizonte en todas las alturas de polo así septentrionales como meridionales.*
6. *Tratado del modo de fabricar relojes horizontales, verticales, orientales, etc, con declinación, inclinación o sin ella: por senos rectos, tangentes, etc, para por la vía de números fabricarles con facilidad.*
7. *Discurso ethereológico del nuevo cometa, visto en aqueste hemisferio mexicano; y generalmente en todo el mundo este año de 1652.* Esta última obra es la única impresa.

Además de estas obras, fray Diego Rodríguez escribió un tratado sobre logaritmos y sus aplicaciones, el cual está perdido. Se sabe de su existencia por algunas referencias que él mismo hace en sus obras.

En el prólogo de su tratado *De geometría* y al que tituló *Tractatus proemiabium mathematices* aparece el esquema general de su obra la cual dividió en dos secciones: matemáticas puras e impuras. Cada una comprende las siguientes subdivisiones:⁸³

Matemáticas puras

Geometría: Traducción y comentarios a Euclides. Resolución de triángulos, cálculo de áreas en función de sus lados; círculo, elipse, parábola, hipérbola. Perspectiva. Dióptrica, catóptrica. Aritmética: Teoría de números. Las cuatro operaciones con enteros y fracciones, progresiones aritméticas; raíces cuadradas y cúbicas de cuadrados y cubos perfectos e imperfectos. Exponentes, cuadrados, cubos. Proporciones, regla de tres.

Algebra: ecuaciones cuadráticas, cúbicas y de cuarto grado. Logaritmos.

Trigonometría: Funciones trigonométricas. Tablas. Ecuaciones trigonométricas. Tablas logarítmicas de funciones trigonométricas. Trigonometría esférica: triángulos esféricos.

Matemáticas impuras

Gnomónica. Mecánica. Arquitectura. Artes bélicas. Astronomía. Fabricación de astrolabios. Astrología. Meteorología. Música. Cosmografía. Geografía. Prosopografía. Geodesia. Magnetismo. Hidrostática. Cronología.

Lo anterior nos da una idea de las materias que se estudiaban en la Nueva España en el siglo XVII. Se puede observar que esta especie de enciclopedia abarca desde la aritmética elemental y los principios de la geometría clásica hasta la resolución de ecuaciones bicuadráticas y el uso de logaritmos en el cálculo de problemas astronómicos.

⁸² Trabulse Atalá, Elias, *Los orígenes de la ciencia moderna en México 1630-1680*, FCE, México, 1994, p. 160.

⁸³ *Ibidem*, p. 165.

Sin embargo el *Tractatus proemialium* no solo contiene el esquema general de la obra de fray Diego, sino que también contiene su propia visión sobre la naturaleza de la matemática. Después de una breve introducción, fray Diego divide su prólogo en seis capítulos cuyo título son:⁸⁴

1. De la matemática general. Qué cosa es la matemática y en qué medida y razón se distingue de la física y de la metafísica. Cómo se distinguen sus principales ramas entre sí.
2. De la división de las disciplinas matemáticas en puras e impuras y en sus definiciones.
3. De la presencia de la geometría especulativa.
4. De la división de la geometría y de los elementos de Euclides.
5. Qué cosa es teorema, qué problema, qué proposición y qué lema, para los matemáticos.
6. Cuáles son los principios de las matemáticas

En el *Tractatus* fray Diego insiste en el hecho de que la geometría, es la “ciencia de las magnitudes, de las proporciones y de las figuras”⁸⁵ y está en la base de cualquier otro saber matemático. De la aritmética afirma que es la “ciencia de los números y de sus propiedades en abstracto”,⁸⁶ cuyo máximo don es de revelar los ritmos secretos de los números, y la última de las ciencias que en cierta forma comprende a todas, es la astronomía, es decir “la ciencia de los cielos y las estrellas y sus movimientos y efectos”,⁸⁷ los cuales según fray Diego, están apoyados en “razones o principios geométricos y aritméticos”.⁸⁸ Para fray Diego la matemática con la astronomía eran el instrumento preciso para arrancarle sus secretos al cosmos. “La astronomía busca las elevaciones, diferencias y distancias de los astros, estudia su comportamiento para posteriormente deducir los teoremas astronómicos que los gobiernan”.⁸⁹ Todo lo anterior está escrito en el *Tractatus proemialium*.

Lo anterior nos da una idea del avance de pensamiento que tenía fray Diego con respecto a las ramas de las ciencias exactas y que repercutiría en otros eruditos novohispanos como Sigüenza en la apreciación de la importancia que tienen las matemáticas en el estudio y comprensión de la naturaleza.

Lo siguiente es un pequeño análisis de su obra matemática la cual es más extensa y trata de las matemáticas puras. Los tres escritos que destinó a esta ciencia, es decir sus tratados *De geometría*, *De logaritmos y aritmética* y *De las ecuaciones* forman una trilogía matemática sistemática y continua. Estas tres obras se abren con el tratado *De geometría* el cual fue escrito entre 1640 y 1643 y comienza estudiando las figuras geométricas simples y se detiene largamente en el estudio de las áreas. Otra sección de la obra está destinada a resolver problemas geométricos de índole práctica.⁹⁰ Después pasa al estudio de temas geométricos más abstractos: el círculo, la parábola, la elipse y la hipérbola. En la octava parte se extiende ampliamente en el estudio de instrumentos matemáticos, aparatos y máquinas, estudia las bases teóricas de los instrumentos de precisión necesarios en las matemáticas y en astronomía. Finalmente inserta una

⁸⁴ *Ibidem*, p. 167.

⁸⁵ *Ibidem*, p. 170.

⁸⁶ *Ibidem*, p. 171.

⁸⁷ *Ibidem*, p. 172.

⁸⁸ *Ibidem*, p. 172.

⁸⁹ *Ibidem*, p. 176.

⁹⁰ *Ibidem*, p. 178.

breve sección de aritmética donde da nociones sobre potencias y raíces. Así mismo estudia las progresiones aritméticas del tipo⁹¹

$$a^1 + a^2 + a^3 + a^4 + \dots + a^{n+1}$$

La obra *De logaritmos y aritmética* la cual data de 1636, se divide en seis partes y fue escrita con una finalidad práctica notoria: facilitar y simplificar todo tipo de cálculos. Indica la forma en que deben utilizarse los logaritmos en problemas aritméticos: resolución de potencias y raíces. Sigue a Neper en la solución de raíces cuadradas de números de más de cinco cifras y también explica el uso y utilidad práctica para diversos problemas cotidianos; da la fórmula:⁹²

$$\log MN = \log M + \log N$$

Se encuentran también tablas logarítmicas de números naturales y de funciones trigonométricas, las cuales tuvieron una buena precisión. Estas tablas fueron las primeras en la Nueva España del siglo XVII.⁹³ Sus tablas son de tres tipos: de senos, de tangentes y secantes, las cuales elaboró de acuerdo con las fórmulas clásicas:

$$\log a = \log \text{sen } A + \log c$$

$$\log a = \log \text{tan } A + \log b$$

$$\log \text{sec } A = -\log \cos A$$

donde: a = cateto

b = cateto

c = hipotenusa

Fueron las tablas del seno que utilizó regularmente en los cálculos de sus observaciones astronómicas.

La última obra de la trilogía matemática de fray Diego Rodríguez es su *Tratado de las ecuaciones*. Esta obra la trabajó desde aproximadamente 1640 hasta 1660. Esta obra empieza con la *Tabla algebraica discursiva*, formada por un conjunto de tablas que permiten resolver directamente un gran número de ecuaciones cuadráticas sencillas. Conforme se avanza en la obra, pasa de los problemas sencillos a los más complejos; desde las ecuaciones de segundo grado más simples hasta llegar a las de cuarto y aún a algunas de quinto grado. Un resumen del tipo de ecuaciones es el siguiente:⁹⁴

a) Cuadráticas:

$$ax^2 = bx$$

$$ax^2 = bx + c$$

$$ax^2 + bx = c$$

$$ax^2 + c = bx$$

b) Cúbicas:

$$x^3 + px = q$$

$$x^3 + px^2 = q$$

$$x^3 = px + q$$

$$x^3 = px^2 + q$$

⁹¹ *Ibidem*, p. 182.

⁹² *Ibidem*, p. 183.

⁹³ *Ibidem*, p. 184.

⁹⁴ *Ibidem*, p. 186.

$$\begin{aligned}x^3 + q &= px \\x^3 + q &= px^2\end{aligned}$$

c) Bicuadráticas y de quinto grado

$$\begin{aligned}a_0x^4 + a_1x^3 + a_2x^2 + a_3x + a_4 &= 0 \\x^4 + x^3 &= a \\x^4 + a &= x^3 \\x^5 + x^3 &= a\end{aligned}$$

Fray Diego estudió a los algebristas del siglo XVI, sobre todo a Tartaglia, Cardano y Ferrari, de tal manera que como ellos planteó y resolvió ecuaciones como:⁹⁵

$$\begin{aligned}x^3 + 48 &= 28x \\x^3 + 576 &= 17x^2 \\10x &= x^2 + 7 \\x^4 + x^3 + x^2 + x - 1 &= 0\end{aligned}$$

Al analizar ciertos casos de las ecuaciones de cuarto y quinto grado intentó encontrar sus raíces a partir de la solución de las ecuaciones de Tartaglia. Además resolvió la ecuación de cuarto grado sin términos en x^3 y x , reduciéndola a las tres ecuaciones cuadráticas. La ecuación de quinto grado del tipo $x^5 + x^3 = a$ la resolvió también reduciéndola a las ecuaciones cúbicas de Tartaglia. También se encontró con el problema de los números imaginarios que al principio los consideró absurdos; después terminaría aceptándolos. Inventó un método para obtener las raíces irracionales de una ecuación llamándolo de las "expansiones".⁹⁶ Fray Diego todavía utilizó el álgebra retórica para expresar sus ecuaciones, por lo cual el simbolismo algebraico era igual al del Renacimiento. Todos los temas anteriores abordados por fray Diego es posible que hayan sido también abordados por Sigüenza o al menos la mayoría.

La obra de fray Diego está destinada en su mayor parte, como lo acabamos de ver, a los estudios matemáticos, en tanto que la obra científica de Sigüenza que nos ha llegado es exclusivamente de tema astronómico, cronológico, histórico poético y geográfico. Fray Diego Rodríguez fue lo que hoy llamaríamos un científico puro, y dedico toda su vida únicamente a actividades netamente científicas. Sigüenza, en cambio, se le denominaría un polígrafo⁹⁷ ya que sus intereses desbordaron varias ramas del conocimiento humano⁹⁸ y es por esto que se le conocen obras de diversa índole.

Por lo expuesto anteriormente es posible que Sigüenza haya tenido contacto con los números imaginarios, además de que haya poseído el *Sapiensa* que es parte de la obra *Artis magnae servae de regulis algebra liber unus* de Cardano de la cual se tiene noticia de que estuvo en la Nueva España (ver capítulo tres). La elaboración de las tablas logarítmicas y trigonométricas fueron tratados por Rodríguez, es posible que Sigüenza también haya trabajado en este rubro, ya que fue uno de los quehaceres más comunes para quienes se dedicaban a observaciones astronómicas; el mismo fray Diego Rodríguez, como vimos elaboró tablas. Era necesaria la exactitud de las tablas trigonométricas, ya que la exactitud para resolver los problemas de astronomía y geografía era importante y no únicamente dependía de las fórmulas. En el siglo XVI se calculaban tablas de senos a intervalos de 15" de exactitud a cuatro cifras sexagesimales. La exactitud de una tabla dependía principalmente del cálculo exacto de $\text{sen } 1^\circ$.

⁹⁵ *Ibidem*, p. 186.

⁹⁶ *Ibidem*, p. 188.

⁹⁷ Polígrafo es aquella persona que escribe sobre diferentes materias.

⁹⁸ Trabulse Atalá, (1989), *op. cit.*, p. 227.

Existían algunos métodos para realizar éste cálculo, pero el que más era utilizado era el que involucraba una versión de la fórmula del ángulo triple $\text{sen } 3\theta = 3 \text{ sen } \theta - 4 \text{ sen}^3 \theta$. Haciendo $\theta = 1^\circ$ da una ecuación cúbica para $x = \text{sen } 1^\circ : \text{sen } 3^\circ = 3x - 4x^3$. Para calcular $\text{sen } 3^\circ$ se valían del valor del ángulo que subtiende el lado de un pentágono y de un hexágono y aplicando las fórmulas de diferencia de ángulos y ángulo-mitad se obtenía $\text{sen } 3^\circ$ y así resolver la ecuación cúbica, cuya solución era dada por la fórmula de Cardano. No sabemos con certeza si este método fue conocido por Sigüenza.

Recordando que en 1680, Sigüenza recibió el título de Cosmógrafo Real, dado por cédula especial expedida por Carlos II. Ese nombramiento conlleva obligaciones que estaban bien marcadas en la recopilación de las leyes de los Reinos de las Indias. Una de ellas era de dar cátedra de matemáticas de acuerdo con el siguiente programa.⁹⁹

El primer año se leería la *De Sphaera* de Juan de Sacrobosco y enseñaría las cuatro reglas aritméticas (suma, resta, multiplicación y división), las raíces cuadrada y cúbica, así como las operaciones entre fracciones. También leería las *Theoricae novae planetarum* de Georg Purbachy las *Tablas Alfonsinas*. El segundo año enseñaría los seis primeros libros de los *Elementos de Geometría* de Euclides, para seguir después con la parte de arcos, senos y tangentes de los triángulos esféricos de la obra *De Triangulis* escrita por Regiomontano. Además debía de explicar el *Almagesto* de Ptolomeo.

Este programa, originalmente elaborado para ser impartido en la Casa de Contratación de Sevilla, es muy similar al de la Universidad de Salamanca. Con esto se reafirma la hipótesis de los temas conocidos y estudiados por Sigüenza.

Como contador de la Real y Pontificia Universidad, Sigüenza posiblemente utilizó algunas de las diversas obras de aritmética mercantil que circularon en el viejo continente como el *Aritmetica* de Cristobal Clavio, el cual estuvo en la Nueva España. Otro libro que se cree que estuvo en la Nueva España fue *Arithmetica* de Luca Pacioli, el cual fue muy difundido en el viejo continente. Un libro que estuvo en poder de don Carlos fue *Clavis mathematica* de Gulieomo Oughtred. Esta obra se escribió con el propósito de instruir al hijo del Conde de Arundel. Fue publicado en Londres en 1631 y su contenido que se describe a continuación, nos da una idea de los elementos de aritmética que eran conocidos por él, además de otras ramas de la matemática.¹⁰⁰

En esta primera parte del libro habla sobre el uso de los logaritmos después describe las cuatro operaciones fundamentales (adición, sustracción, multiplicación y división) y se describen métodos para realizarlas. Después pasa a tratar la teoría de las proporciones explicando lo que son las proporciones alterna, inversa compuesta, conversa y mixta. Dedicó después cuatro apartados a las fracciones; explica que son, como es su manejo con las cuatro operaciones fundamentales, muestra la reducción de fracciones a su mínima expresión y da ejemplos. Los últimos ocho apartados los dedica a la potenciación y radicación, sobre las ecuaciones de segundo grado y por último aborda los *Elementos* de Euclides. En esta obra aparece contractada la multiplicación y división, la distinción entre los dos usos de los signos + y -, el simbolo :: para proporción, y el simbolo x para multiplicación (ya conocido) y ~ para el valor absoluto de una diferencia.¹⁰¹

No hay duda de que quizás Sigüenza haya poseído más obras al respecto, ya que como se sabe tuvo una biblioteca muy variada, así dio fe de ello el célebre viajero italiano Gemelli

⁹⁹ Moreno Corral, M., *op. cit.*, p. 166.

¹⁰⁰ Oughtred, Gulieomo, *Clavis mathematica*, 1648, London. Actualmente este libro se encuentra en el fondo reservado de la biblioteca del Palacio de Minería.

¹⁰¹ Eugene Smith, David, *History of mathematics*, vol I, Dover Publications, New York, 1951, p. 394.

Carrieri quién visitó a Sigüenza en 1697.¹⁰² Quizás algunos de los libros reseñados en el capítulo dos hayan formado parte de su acervo bibliográfico. Otros dos libros que estuvieron en sus manos fueron el *In spheram ioannis* de Cristóbal Clavio e *Institotium astronomicarum* de Adriano Metio.¹⁰³ Del primer libro encontramos todo sobre el sistema geocéntrico; el segundo libro trata sobre la esfera celeste y contiene una sección de matemáticas que son utilizadas para el cálculo de las posiciones de los astros en la esfera celeste. Esta parte se titula: "Fabrica Planisphaerii trigonometricum astronomica" dividida en:

- I De las generalidades y afecciones de los triángulos.
- II De la resolución de los triángulos planos.
- III De la resolución de los triángulos esféricos.

Esencialmente es la trigonometría la materia que es tratada en esta parte del libro. En ella se muestra con mayor énfasis la resolución de triángulos esféricos oblicuángulos, rectángulos y la resolución de triángulos esféricos por triángulo canónico. Otro libro que Sigüenza tuvo en sus manos fue el titulado *Trigonometriae* de Bartolomé Pitiscus, el cual cita en la *Libra* para encontrar el paralaje del cometa. Este libro fue el tratado más completo y sistemático de trigonometría que se publicó en ese entonces y sólo fue superado por el *Canon mathematicus* de Vieta.¹⁰⁴ En *Trigonometriae*, además de ampliar y mejorar los trabajos hechos sobre trigonometría, tiene una parte dedicada a aplicaciones y resolución problemas, de la cual se ha extraído el siguiente problema:

Hallar el área del campo ABCDE con los siguientes medidas: $AB = 7$, $BC = 9$, $AC = 13$, $CD = 10$, $CE = 11$, $DE = 4$, $AE = 17$ y estando $BF \perp AC$, $CG \perp AE$, $DH \perp CE$ ¹⁰⁵ (Ver figura 17).

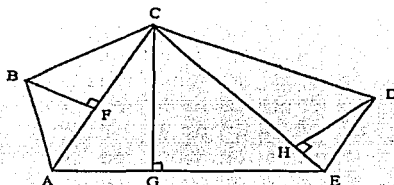


figura 17

Este problema nos da una idea de las aplicaciones que tuvo la trigonometría y por ello no es difícil pensar que Sigüenza haya incursionado en áreas como la topografía, (ya que este problema es de topografía) y es en los libros de matemáticas del siglo XVII que aún existen, además de los manuscritos, los que den un reflejo del quehacer matemático que tuvo Sigüenza. Aun han de existir libros de los siglos XVI y XVII que arrojen luz sobre la actividad matemática que se llevó a cabo en la Nueva España y en particular de Sigüenza. Por ejemplo se halló un libro

¹⁰² Trabulse Atalá, Elías, *Los manuscritos perdidos de Sigüenza y Góngora*, El Colegio de México, México, 1988, p. 13.

¹⁰³ Metio, Adrian, *Institotinum astronomicarum*, 1609, Francker, Holanda. Actualmente este libro se encuentra en el fondo reservado de la biblioteca del Palacio de Minería. Otros libros escritos por Metio son *Praxis nova geometrica per usum circini*, Francker, 1626 y *Doctrinae sphericae libri V*, Francker, 1591.

¹⁰⁴ Cid, Felipe, *Historia de la ciencia*, vol. II, Ed Planeta, Barcelona, 1979, p. 121.

¹⁰⁵ Katz, Victor, J., *A history of mathematics an introduction*, Harper and Collins, New York, 1993, p. 389.

titulado *Noveux element de geometrie* con fecha de 1690,¹⁰⁶ el cual no aparece registrado en las listas de libros de matemáticas clasificados por el maestro Marco Arturo Moreno. No se sabe si perteneció a Sigüenza.

En la Libra menciona un número notable de jesuitas, todos ellos se interesaron por la matemática. Cristobal Clavio, Christoph Sheiner, Honorato Fabi, Juan Bautista Riccioli, José Zaragoza Gregorio de Saint Vincent, etc, quienes fueron jesuitas hoy están completamente olvidados. Muchos de ellos se esforzaron en mostrar que disciplinas matemáticas como la óptica y la astronomía tenían un auténtico valor científico; muchos de sus discípulos, posteriormente desarrollarían análisis epistemológicos precisos para defender esta concepción.¹⁰⁷

Así los jesuitas observaron e intuyeron que dichas disciplinas matemáticas se fortalecían con el uso de la matemática, ya que ella daba lo necesario para encontrar los modelos matemáticos que rigen los fenómenos como la difracción de la luz, el desplazamiento de un planeta, un eclipse, etc. y utilizar con eficacia los datos cuantitativos. La compañía de Jesús no solo contribuyó en gran medida al desarrollo de la ciencia en los comienzos del siglo XVII, sino que algunos de sus miembros analizaron de forma particularmente perspicaz los problemas a los que se enfrentaban las nuevas ciencias matemáticas.¹⁰⁸ Por tanto no es raro que Sigüenza se haya dado cuenta de la importancia de la matemática, y se haya esmerado en aprender la herramienta matemática disponible de ese entonces. Es posible que haya sabido más sobre los temas matemáticos que estaban en boga y los que se estaban gestando y aunque hemos visto que predomina la geometría, trigonometría, aritmética y álgebra en su quehacer científico, es posible que haya conocido el libro de Cavalieri sobre los indivisibles, el de Piero Antonio Cataldi sobre fracciones continuas y el de Descartes sobre la geometría analítica, ya que la polémica teórico-teológica que aparece en otras facetas de las ciencias exactas, está ausente del terreno matemático y es probable que Sigüenza haya tenido libros de otras ramas de la matemática, y no se sepa de ellos porque por un lado, no se han realizado estudios que den prueba de ello y, por otro lado, él no las haya incluido por que no le servían para sus propósitos pragmático-utilitaristas.

¹⁰⁶ Van Bulderen, Henry. *Noveaux element de geometrie*, France 1690. Esta obra se encuentra en el fondo reservado de la biblioteca del Palacio de Minería.

¹⁰⁷ Thuillier, Pierre, *De Arquimedes a Einstein. Las caras ocultas de la invención científica*, ed Alianza, Madrid, 1990, p. 236.

¹⁰⁸ *Ibidem*, p. 236.

5 SNTESIS CONCLUSIVA

En Europa, entre los siglos XVI y XVII, el desarrollo del conocimiento científico tuvo una aceleración que condujo a una revolución conceptual y metodológica. Esta revolución estuvo asociada a los nombres de Copérnico, Galileo, Kepler; Descartes, Newton, y otros quienes introdujeron una nueva manera de estudiar la naturaleza. El empleo de instrumentos hizo que se le diera al conocimiento sensible una importancia de la que había carecido hasta entonces, e hizo de la observación y de la experimentación dos procedimientos confiables. La matematización de los resultados experimentales permitió la cuantificación y el empleo del razonamiento sobre los datos empíricos. El abandono de teorías mantenidas tradicionalmente como verdaderas sin más prueba que la fuerza de la autoridad escolástica, condujo a nuevas hipótesis y concepciones que fueron verificadas con un grado aceptable de exactitud. El conjunto de esas innovaciones fue sintetizado en un conjunto de reglas y procedimientos, que caracterizaron al así llamado método experimental.

Las matemáticas por su parte, suministraron a los científicos los medios lógicos para formular y demostrar sus teorías. El paso decisivo lo había dado Vieta al convertir la argumentación matemática en simbólica, mediante el uso de letras para designar las magnitudes tanto las conocidas como aquellas que debían de averiguarse; no solo aplicó este adelanto a el álgebra sino a la trigonometría también. Con este sistema se aumentó notoriamente la rapidez de los cálculos. al progreso en este campo contribuyeron, entre otros Tartaglia y Cardano al emplear métodos algebraicos para tratar todo problema en el que las magnitudes fueran reducibles a números. En 1585 Simon Stevin había introducido los decimales, y Napier los logaritmos en 1614. Al abreviarse los cálculos se multiplicó el número de astrónomos y físicos. El avance definitivo lo establecieron Newton y Leibniz, al descubrir en el último cuarto del siglo XVII el cálculo diferencial e integral.

Así la ciencia europea se caracterizó por el desarrollo teórico de las matemáticas puras, por un racionalismo a ultranza y por la creencia casi dogmática en la inmutabilidad de los procesos de la naturaleza. Con estas premisas se consolidaron el método experimental y el razonamiento deductivo, apareciendo el concepto de ley natural.

El tránsito a la ciencia moderna no fue repentino y así se percibe en algunas obras de los científicos europeos, en las cuales existe una mezcla de hipótesis, teorías e ideas hermético-mecanicistas. Ejemplos de este comportamiento plurifacético son Newton, teólogo primero y después científico y Kepler como astrólogo.

Y si esta situación se presentaba en los medios y personajes que encabezaban el auge racionalista, también se presentó en los personajes que se dedicaron al quehacer científico en la Nueva España, cuyo desfasamiento contrarreformista de las doctrinas de "avanzada" en aquel momento, obligó a una mayor "confusión" de las diversas tradiciones, reforzada por el permanente intento conciliador que conducía la necesidad de no contradecir las sagradas escrituras, en un ambiente dominado por los terrores inquisitoriales.

Durante el siglo XVII en la Nueva España existió un afán de resolver los problemas de índole práctica, no por ello dejando de estudiar problemas desde el punto de vista teórico (como el magnetismo y los fenómenos celestes), y en algunos casos se notó un desarrollo hacia la explicación matemática y el racionalismo en las obras de fray Diego y en Sigüenza, lo cual no puede afirmarse en modo alguno que hayan creado una escuela acerca de sus conocimientos.

Un hecho que apareció en el proceso de modernización científica europea y que también se dio en la Nueva España fue la voluntad de difundir y "vulgarizar" las nuevas ideas y técnicas, que si bien a finales del siglo XVII no fue muy notorio, en el siglo XVIII se remarcaría más esa tendencia.

En la Nueva España, la formación de los novohispanos se llevó a cabo gracias a los siguientes factores: bibliotecas privadas que se integraron evadiendo las restricciones oficiales y a través del contrabando de libros; publicaciones científicas que difundieron las ciencias con el propósito de crear una cultura científica y de promoción social de sus cultivadores. Además cabe hacer notar que varias de las obras científico-técnicas que se dieron a las prensas en la Nueva España fueron escritas en español y no en latín lo cual fue importante para la divulgación.

También se observó que en el interés de los novohispanos por la ciencia no dejó de estar presente la tradición. Así algunos de ellos intentaron de enfocar su modernidad con otras creencias firmemente establecidas en su medio en esa época y por tanto, difíciles de esquivar como Sigüenza que mantuvo concepciones herméticas. Debe aclararse que en el siglo XVII la coexistencia de diferentes paradigmas científicos aún en un mismo individuo era común no solo en la Nueva España sino en Europa también.

Al comparar la *Libra* astronómica de Sigüenza con la *Exposición astronómica* de Kino, encontramos en esta última, que la matemática usada en ella no es tan avanzada como uno esperaría, ya que como sabemos Kino proviene de Europa en la época en que existía producción matemática. De esta manera encontramos que los avances de la matemática en un principio, circularon en algunas gentes que eran discípulos o seguidores de la persona que realizó alguna aportación a la matemática, y la rapidez con la que se difundiría dependería de la aplicación que se le diera. Dos ejemplos de ello son los logaritmos y el cálculo diferencial e integral.

Sigüenza hace uso de la aritmética, geometría y trigonometría en la *Libra*, también utilizó los logaritmos para facilitar sus cálculos trigonométricos. A través de los trabajos prácticos y teóricos sobre matemáticas de sus contemporáneos, encontramos que también pudo tener contacto con el álgebra, números imaginarios y el estudio de las ecuaciones de tercer y cuarto grado, así como el estudio de los problemas de la cuadratura del círculo, la duplicación del cubo y trisección del ángulo, los cuales estaban en boga en ese entonces. También a través de las obras destinadas a la agrimensura y la topografía, así como la cartografía, se ha encontrado la aplicación predominante de la geometría y de la trigonometría. Del análisis de estas actividades realizadas y de la *Libra*, no se ha encontrado un interés propio que le haya motivado por realizar contribuciones en matemáticas en el área teórica como la aplicada; el se concreta en aprovechar concienzudamente toda la herramienta matemática disponible en ese entonces para resolver los problemas lo más exactamente posible que surgían durante su labor como cosmógrafo.

En cuanto al material matemático encontrado en la *Exposición astronómica* de Kino utiliza solo la geometría euclidiana y la aritmética. No se halló algún cálculo trigonométrico con logaritmos, ni expresa que los haya usado

Otra fuente que también reafirma el conocimiento que tuvo Sigüenza de estos temas son los libros europeos de matemáticas llegados a la Nueva España. Se tiene registro de que se han encontrado libros de Pier Antonio Cataldi, Cavalieri, Descartes y comentaristas de obras matemáticas de los griegos, sobre todo de Euclides. En la propia *Libra* señala el conocimiento que tuvo de personajes de la matemática como Willebrord Snell, el mismo Descartes, Cristian Huygens, Kepler, lo cual nos hace suponer que posiblemente haya tenido alguna obra de ellos o pudo haber tenido conocimiento sobre su labor matemática a través de comentarios de ella. Quizás Sigüenza haya tenido conocimiento de diversos temas matemáticos, pero para sus exposiciones y resolución de problemas solo utilizó la que le era útil. No existen evidencias o estudios que demuestren que Sigüenza haya hecho avances en torno de la matemática.

Durante la disputa que se desató en torno al cometa de 1680 lo único que ocurrió fue la manifestación plena de todas las corrientes que formaban el tejido de la ciencia novohispana del siglo XVII. No puede afirmarse que aquello fue un diálogo científico creador de nuevas verdades aceptadas por los participantes.

Sigüenza no fue un creador de nuevas teorías científicas, sino de un hombre erudito que conoció algunas concepciones fundamentales en las que alentaba la nueva visión del mundo físico y aplicó algunos principios y métodos de un "paradigma" científico, el de la modernidad. Por otra parte, Sigüenza no desarrolló un pensamiento sistemático en torno a los problemas de la ciencia; no hizo filosofía propiamente hablando, sino que a la par que practicó el nuevo estilo de ciencia hizo reflexiones aisladas sobre sus características y métodos. Los métodos matemáticos que aprendió fueron todo su acervo matemático, mientras que fray Diego realizaba estudios sobre logaritmos, Sigüenza sólo los aplica sin incorporar novedad matemática alguna, y es que fray Diego, se dedicó a tareas científicas sin desviarse hacia otros temas. En cambio Sigüenza fue lo que se le denomina un polígrafo, ya que sus intereses desbordaron a menudo los temas científicos para incursionar en otras áreas.

En la *Libra* pueden leerse pasajes en los cuales puede observarse que Sigüenza tiene una percepción diferente a la autoridad en lo que se refiere a la ciencia de su tiempo; tiene algunos atisbos que lo diferencian de sus contemporáneos y se aproxima a las nuevas formas de pensamiento científico que estaban naciendo en ese momento en Europa. Sabe de la importancia que tienen la observación y los cálculos matemáticos para respaldar a la razón. Sigüenza no es un precursor de la metodología científica; usa el método para que lo respalde en la veracidad de sus afirmaciones contra Kino. También se da cuenta de la importancia que tienen los aparatos que le ayudan a la veracidad de sus afirmaciones, como lo es el telescopio. La observación científica requiere de exactitud que los instrumentos le brindan para llevarla a cabo.

Sigüenza fue un autor contradictorio y esa contradicción es la que se explicó como consecuencia de la transición desde luego enmarcada en el condicionamiento histórico en que nuestro personaje se inserta. Su falta de completa modernidad se atribuye a causas externas, tales como el ambiente que le impide progresar; otros a problemas de índole personal tales como su compromiso a una jerarquía eclesiástica o a una mezcla de ambos. Podría mencionarse que si bien parte de sus ideas son tradicionales, no así sus actitudes que resultan novedosas en su tiempo. El hecho de que Sigüenza sólo aplique tablas y establezca cálculos, pero no obtenga de ello mayores consecuencias teóricas, de debe a que no fue un científico creador, lo cual no le resta modernidad, y por ello no es posible que de sus observaciones obtuviera conclusiones para crear una teoría astronómica o matemática al observar el cometa. Sigüenza es un autor moderno y por ello en la medida en que participa de las nuevas perspectivas a que da lugar la crisis del Renacimiento.

BIBLIOGRAFÍA

Libros sobre historia de las matemáticas

- Ball, W.W, Rouse, *A short account of the history of mathematics*, Dover publications, New York, 1960.
- Bell, Eric Temple, *Historia de las matemáticas*, Fondo de Cultura Económica, México, 1946.
- Bourbaki, Nicolás, *Elementos de historia de las matemáticas*, Ed Alianza, Madrid, 1976.
- B. Boyer, Carl, *Historia de la matemática*, Ed Alianza, Madrid, 1986.
- Cajori, Florian, *A history of elementary mathematics*, Mc millan Co. , London, 1924.
- _____ *A history of mathematics*, Chelsea publishing, New York, 1980.
- Collette, Jean Paul, *Historia de las matemáticas*, vol. I, siglo XXI, México, 1986.
- Dirk Jan Struik, *Historia concisa de la matemáticas*, IPN, México, 1986.
- Euclides, *The thirteen books of Euclid's elements*, traslated and commentary by Thomas L. Heath, vol I and II, Dover publications, New York, 1958.
- Eugene Smith, David, *History of mathematics*, Dover, New York, 1958.
- J. F. Scott, B. A. *A history of elementary mathematics from antiquiy to beginning of the nineteenth century*, Taylor and Francis LTD, London, 1958.
- Katz, Victor, J., *A history of mathematics an introduction*, Harper and Collins, New York, 1993.
- Kline, Morris, *El pensamiento matemático de la antigüedad hasta nuestros días*, vol I, Ed. Alianza, Madrid, 1992.
- Pastor, J. Rey, *Historia de las matemáticas*, vol. II, Gedisa, Barcelona, 1997.
- Sestier Bouclier, Andrés, *Historia de la matemáticas*, Ed Limusa, México, 1989.

Libros sobre historia de la ciencia

- Bernal, John, D, . *La ciencia en la historia*, Ed Nueva Imagen, México 1981.
- Butterfiel, Herbert, *Los orígenes de la ciencia moderna*, CONACYT, México, 1981.

- Crombie, A. C., *Historia de las ciencias: de San Agustín a Galileo*, Ed Alianza, Madrid, 1974.
- Cid, Felipe, *Historia de la ciencia*, vol. II, Ed Planeta, Barcelona, 1979
- Dampier, William Cecil, *Historia de la ciencia y sus relaciones con la filosofía y la religión*, Ed Aguilar, Madrid, 1970.
- López Piñero, José, *Ciencia y técnica en la sociedad española de los siglos XVI-XVII*, Ed. Labor, Madrid, 1979.
- Martínez Sanz, José Luis, *Relaciones científicas entre España y América*, Ed Mapre, Madrid, 1992.
- Mieli, Aldo, *Panorama general de historia de la ciencia*, vol V, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1952.
- Papp, Desiderio, *Panorama general de historia de la ciencia*, vol VII, Espasa-Calpe, Buenos Aires, 1954.
- Saldaña, Juan José "Ciencia y felicidad pública en la ilustración americana", en Saldaña, Juan José, (coordinador), *Historia social de las ciencias en América Latina*, Coordinación de humanidades, UNAM, 1996.
- Stephen, F. Mason, *Historia de las ciencias*, vol II, Ed Alianza, Madrid, 1985.
- Thoullier, Pierre, *De Arquímedes a Einstein. Las caras ocultas de la invención científica*, ed Alianza, Madrid, 1990.
- Venet, Juan, *Astrología y astronomía en el Renacimiento*, Ed Ariel, Madrid, 1974.
- Vilchis, Jaime, *Ciencia entre Viejo y Nuevo Mundo*, Artes gráficas Clavileño, Madrid, 1984.

Libros sobre historia de la ciencia en México

- De Gortari, Eli, *La ciencia en la historia de México*, FCE, México, 1963.
- Gonzalbo, P., *El humanismo y la educación en la Nueva España*, Biblioteca Pedagógica, SEP, México, 1985.
- Medina Peralta, Manuel, "Nuevos métodos astronómicos ideados por astrónomos mexicanos" en *Memorias del primer coloquio mexicano de historia de la ciencia*, Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, México, 1964.
- Rodríguez Sala de Gomezgil, María Luisa, *Raíces de la cultura nacional: Los primeros científicos de la Nueva España*, Ed Chromatos, México, 1994.
- Sanchez R., *Historia de la tecnología y la invención en México*, Fomento Cultural Banamex, 1980
- Trabulsee, Elías, *Ciencia y religión en el siglo XVII*, El colegio de México, México, 1974.
- _____, *El círculo roto*, Fondo de cultura económica, México, 1982.
- _____, *Historia de la ciencia en México*, vol I, CONACYT-FCE, México, 1984.
- _____, Elías, *Los orígenes de la ciencia moderna en México 1630-1680*, FCE, México, 1994.
- _____, Elías, *Ciencia y tecnología en el Nuevo Mundo*, El colegio de México, México, 1993.
- _____, Elías, *La ciencia perdida*, Fondo de cultura económica, México, 1985.

Libros sobre historia del pensamiento

- Barreiro Güemes, Juan José, *Historia de las ideas*, vol II, UPN, México, 1979.
- Gaos, José, *Historia de nuestra idea del mundo*, Fondo de Cultura Económica, México, 1973.
- Koyré, A., *Estudios de historia del pensamiento científico*, Siglo Veintiuno Editores, México, 1987.

Navarro, B., *La introducción de la Filosofía moderna en México*, El Colegio de México, México, 1948.

Libros sobre Carlos de Sigüenza y Góngora

Benítez Grobet, Laura, *La idea de historia en Carlos de Sigüenza y Góngora*, México, UNAM, 1982.

Leonard Irving, Albert, *Carlos de Sigüenza y Góngora. Documentos inéditos*, Centro bibliográfico Juan José Euguiara y Eguren, México, 1963.

Leonard Irving, Albert, *Don Carlos de Sigüenza y Góngora: un sabio mexicano del siglo XVII*, FCE, México, 1984.

Mayer, Alicia, *Dos americanos, dos pensamientos: Carlos de Sigüenza y Cotton Mather*, Instituto de Investigaciones Históricas UNAM, México, 1998.

Moreno Montes de Oca, Rafael, "El método experimental y matemático en Sigüenza y Góngora", en *Memorias del primer coloquio mexicano de historia de la ciencia*, Sociedad Mexicana de Historia de la Ciencia y de la Tecnología, México, 1964.

Trabulse Atalá, Elías, "La obra científica de Carlos de Sigüenza y Góngora 1667-1700" en: *Actas de la sociedad mexicana de historia de la ciencia y tecnología*, SMCHT, vol. V, 1989.

Obras de Carlos de Sigüenza y Góngora

Sigüenza y Góngora, Carlos de, (1645-1700), *Documentos inéditos*, ed Fournier, México, 1963.

_____, "Infortunios de Alonso Ramírez", en *Relaciones históricas*. Selección, prólogo y notas de Manuel Romero de Terreros. México, UNAM, 1954.

_____, *Libra astronómica y filosófica*, presentación de José Gaos, Centro de estudios filosóficos, México, 1959.

Otras fuentes

Alemán, Silverio, "El cometa de 1680 observado en México", *Revista de la Sociedad de Estudios Astronómicos y Geofísicos*, núm. 4, vol. I, 1929.

Aranguren, José Luis, "Catolicismo y protestantismo como forma de existencia", *Revista de occidente*, 1952.

Beristain de Souza José Mariano, *Biblioteca Hispano Americana Septentrional*, vol II, Ediciones Fuente Cultural México, 1947.

Cetto, Ana María, *La ciencia desde México*, num 32, SEP/FCE, México, 1987.

Moreno Corral, Marco, "Los primeros libros científicos que llegaron a la Nueva España", contenido en: Juan José Saldaña. (ed), *Memorias del primer congreso mexicano de historia de la ciencia y la tecnología*, México, 1989.

Moreno Corral, Marco, "Libros de matemáticas llegados a América durante los siglos XVI-XVII", *Mathesis*, vol 8, julio 1992.

Moreno Corral, Marco, "El arribo de la ciencia a la Nueva España" *Ciencia y Desarrollo*, vol 112, sep/oct 1993.

Moreno Corral, Marco, "La astronomía en el México del siglo XVII", *Ciencias*, abril-junio 1999.

Moreno Corral, M, A y Berron Mena, T., "Sigüenza y Góngora: un científico de transición", *Quipu*, vol 13, núm 2, 2000.

Romero Contrás, A. Tonatiuh. "Carlos de Sigüenza y Góngora: Una vida para la ciencia", *Ciencia Ergosum*, 1998.

Trabulsee Atalá, Elías, "Sor Juana y Athanasius Kircher" en *El hermetismo y Sor Juana Inés de la Cruz. Orígenes e interpretación*, México, 1980.

Libros antiguos

Metio, Adrian, *Institotinum astronomicarum*, 1609, Fransker, Holanda.

Kino, Eusebio Francisco, *Exposición Astronómica del cometa*, México, 1681

Oughtred, Guliero, *Cavis mathematica*, London 1648.

Saez de Escobar, Joseph, *Geometría práctica y mecánica dividida en tres tratados*, México, 1690.

Van Bulderen, Henry, *Nouveaux element de geometrie*, France, 1690.