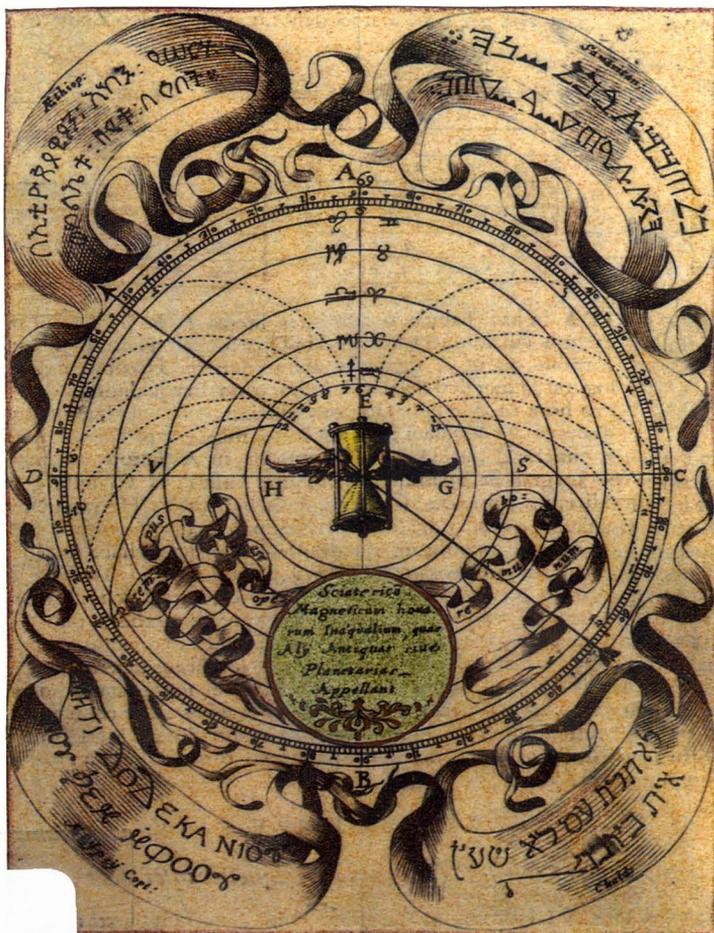




Elías Trabulse

Ciencia y tecnología en el Nuevo Mundo

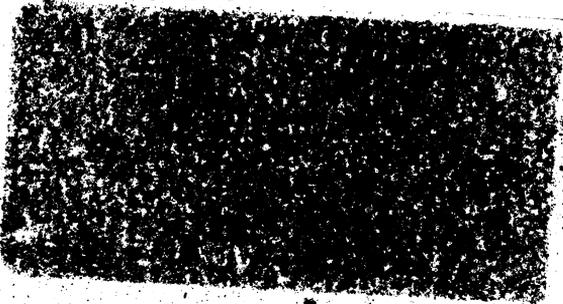


508.7
T7581c

Fideicomiso Historia de las Américas
Serie Ensayos

AUTOR

TITULO



EL COLEGIO DE MEXICO



3 905 0546562 8

BIBLI

...cimiento

C N	Biblioteca Daniel Cosío Villegas
	...entario 2007

SECCIÓN DE OBRAS DE HISTORIA

FIDEICOMISO HISTORIA DE LAS AMÉRICAS
Serie Ensayos

Coordinada por
ALICIA HERNÁNDEZ CHÁVEZ

*Ciencia y tecnología
en el Nuevo Mundo*

ELÍAS } TRABULSE *Atala*

CIENCIA Y TECNOLOGÍA EN EL NUEVO MUNDO

Biblioteca Daniel Osorio Villegas
EL COLEGIO DE MEXICO, A. C.



EL COLEGIO DE MÉXICO
FIDEICOMISO HISTORIA DE LAS AMÉRICAS
FONDO DE CULTURA ECONÓMICA
MÉXICO

Primera edición, 1994

508.7
T7581c

Open access edition funded by the National Endowment for the Humanities/Andrew W. Mellon Foundation Humanities Open Book Program.



The text of this book is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International License: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>

D. R. © 1994, FIDEICOMISO HISTORIA DE LAS AMÉRICAS
D. R. © 1994, EL COLEGIO DE MÉXICO
Camino al Ajusco, 20; Pedregal de Santa Teresa
10740 México, D. F.
D. R. © 1994, FONDO DE CULTURA ECONÓMICA, S. A. DE C. V.
Carretera Picacho Ajusco, 227; 14200 México, D. F.

ISBN 968-16-4390-9

Impreso en México/*Printed in Mexico*

PRESENTACIÓN

EL FIDEICOMISO HISTORIA DE LAS AMÉRICAS nace de la idea y la convicción de que la mayor comprensión de nuestra historia nos permitirá pensarnos como una comunidad plural de americanos, al mismo tiempo unidos y diferenciados. La obsesión por definir y caracterizar las identidades nacionales nos ha hecho olvidar que la realidad es más vasta, que supera nuestras fronteras, en cuanto ésta se inserta en procesos que engloban al mundo americano, primero, y a Occidente, después.

Recuperar la originalidad del mundo americano y su contribución a la historia universal es el objetivo que con optimismo intelectual trataremos de desarrollar a través de esta nueva serie que lleva precisamente el título de Historia de las Américas, valiéndonos de la preciosa colaboración de los estudiosos de nuestro país y en general del propio continente.

El Colegio de México promueve y encabeza este proyecto que fue acogido por el Presidente de los Estados Unidos Mexicanos, Carlos Salinas de Gortari. Estamos convencidos de que la transformación económica que vive nuestro país, y la región entera, debe verse acompañada de una transformación cultural semejante. Al estímulo del gobierno federal se sumó el entusiasmo del Fondo de Cultura Económica para la difusión de nuestras primeras series, Ensayos y Estudios, que hoy entregamos al público.

ALICIA HERNÁNDEZ CHÁVEZ

Presidenta

Fideicomiso Historia de las Américas

Bco 18 11194

PREFACIO

LAS CIENCIAS Y LAS TECNOLOGÍAS desempeñaron un papel relevante en el proceso del descubrimiento, conquista y colonización del Nuevo Mundo. La hazaña del descubrimiento se vio favorecida por los avances europeos en la náutica y en los cálculos astronómicos. La Conquista, que en menos de cuarenta años logró subyugar a los dos imperios más poderosos de América y a gran parte de su territorio, pudo ser realizada gracias a la superioridad española en técnicas militares y en aparato bélico. Por último, la expansión europea por el continente y el complejo proceso de colonización sólo pudieron llevarse a efecto por los avances alcanzados en la geografía, la cartografía, la arquitectura y la ingeniería civil, hidráulica, urbanística y militar. Todo el proceso histórico de América, que arranca en el momento en que Colón pisa tierras de Indias, está indeleblemente marcado por elementos científicos y tecnológicos que fueron la condición de posibilidad material de la gran empresa del Nuevo Mundo hasta el punto que ésta resultaría inexplicable e incomprensible sin esos factores.

Sin embargo, América no solamente fue receptora y transformadora de la ciencia y la tecnología europeas. Ya desde el siglo pasado diversos historiadores señalaron que el descubrimiento del Nuevo Mundo había sido uno de los más importantes elementos propulsores y generadores de la Revolución Científica de los siglos XVI y XVII. En el año de 1844, al dar fin a lo que sin duda fue su obra más ambiciosa, el *Cosmos*, Alejandro de Humboldt señaló que los aportes científicos y tecnológicos europeos habían duplicado el mundo conocido con la hazaña extraordinaria del descubrimiento de América, y que este hecho histórico había suministrado a la inteligencia “nuevos y poderosos estímulos, que debían acelerar el progreso de las ciencias bajo el punto de vista matemático y físico”. Así, resulta indudable que los viajes marítimos de españoles y portugueses no sólo rompieron para siempre la unidad geográfica de la ecumene medieval, sino que pusieron las bases sobre las que menos de un siglo después se edificaría la Revolución Científica. Un Nuevo Mundo geográfico dio origen en Europa a un Nuevo Mundo científico. Años después, ese Nuevo Mundo geográfico,

es decir América, se convertiría a su vez en receptor de esa Revolución Científica.

Este fenómeno de recepción y difusión de la ciencia moderna en América en la época colonial se dio en la misma línea del conocimiento científico que en Europa, es decir, en el campo de las ciencias físico-matemáticas, no en el de las ciencias de la vida. Esto explica el enfoque que hemos querido dar a este libro, donde las ciencias exactas y las tecnologías juegan el papel central. Para ello optamos por privilegiar el estudio de autores, obras y aportaciones científicas y técnicas, dando un lugar menor a los factores externos al desarrollo científico, es decir, instituciones, factores económicos y políticos, entorno cultural, etc. Esto nos permitió profundizar en ese interesante fenómeno histórico que hizo de América un generador inagotable de información científica, a la vez que se convertía en un activo receptor de las nuevas teorías estructuradas con base en esos datos. Es lógico pensar que fue gracias a los cultivadores de las ciencias exactas —desde matemáticos y astrónomos hasta ingenieros militares— que en América lograron difusión las tesis mecanicistas de la Revolución Científica. Sus vastos aportes científicos y tecnológicos nos señalan la ruta que siguió esa matematización rigurosa del espacio americano entre los siglos xv y xix.

4 de octubre de 1993.

ELÍAS TRABULSE
Centro de Estudios Históricos
El Colegio de México

I. GEOGRAFÍA

1. LOS NUEVOS DATOS GEOGRÁFICOS

EL 16 DE AGOSTO DE 1494, en una de las diversas cartas dirigidas por los Reyes Católicos a Cristóbal Colón, le expresaban su deseo de conocer la posición geográfica de las “islas y tierra” recién descubiertas, la ruta que había seguido hasta las Indias y, de ser posible, una carta geográfica que representara, aunque fuese en forma rudimentaria, las nuevas tierras. Además, le solicitaban datos acerca del número de islas que había encontrado y qué nombres les había puesto, así como los nombres con que las conocían sus pobladores indígenas. También insistían en conocer las distancias entre ellas, sus climas y productos, su fauna y su flora, pero sobre todo sus metales preciosos y sus riquezas. Poco tiempo después, en las célebres instrucciones que le dirigieron al Almirante, los monarcas le decían expresamente: “Habéis de ver en estas islas y tierra firme que descubriéredes, qué oro e plata e perlas e piedras e especiería e otras cosas hobiere e en qué cantidad e cómo es el nacimiento de ellas, e facer de todo ello relación por ante nuestro escribano e oficial que nos mandamos ir con vos para ello, para que sepamos de todas las cosas que en las dichas islas e tierra firme hubiere.”

Desde esas fechas tempranas del contacto de los europeos con América hasta fines del periodo colonial, la Corona española exigió en forma constante y reiterada el envío de informes y relaciones geográficas desde sus posesiones ultramarinas. A su vez, virreyes, gobernadores y capitanes generales solicitaban de los exploradores y descubridores informes pormenorizados y mapas de las tierras que recorrieran. Ejemplos de ellos son las instrucciones de Pedrarias Dávila a Gabriel de Espinoza, de Diego Velázquez a Hernán Cortés, de este último a Álvaro de Saavedra Cerón, de Diego López de Salcedo a Gabriel de Rojas y del virrey Antonio de Mendoza a fray Marcos de Niza, por no mencionar sino a unos cuantos de la primera mitad del siglo XVI.

El primer intento de sistematizar ese cúmulo de información se dio el 24 de septiembre de 1571, con la publicación de las Ordenanzas Reales del Consejo de Indias. Ahí se daban instrucciones precisas para elabo-

rar las descripciones geográficas de las Indias. Esta información era secreta y sólo debía ser utilizada por el “cronista cosmógrafo” para la elaboración de una síntesis geográfica del Nuevo Mundo.

Esas *Ordenanzas* comprenden 122 capítulos (82 más que las *Ordenanzas* anteriores, que datan de 1543), y en ellas se trasluce el interés de la Corona por centralizar en el Consejo de Indias todos los aspectos referentes a la gobernación y justicia de sus dominios. Además, resulta patente el interés de la monarquía por conocer la geografía y la historia natural, política y eclesiástica de las Indias. Con ese objeto se había creado el cargo de cosmógrafo-cronista mayor, cuya misión era, primero, escribir la historia de las colonias y recabar todos los informes posibles sobre el tema. Además, debía compilar las *Relaciones* geográficas enviadas desde América a efecto de realizar una síntesis descriptiva de su fauna y flora, de sus riquezas minerales, de la posición geográfica de sus puertos y ciudades, así como del número de pobladores y de sus actividades agrícolas y comerciales. La ordenanza número 68 manda explícitamente que los cosmógrafos y el piloto mayor compilen un libro de hidrografía universal, en el cual debían figurar los accidentes geográficos más importantes de las costas americanas frecuentadas por los navíos ibéricos. Las ordenanzas 69 a 80 describen con detalle la forma en que la información naval debía ser recogida en forma sistemática en un “padrón y carta general de navegación”, tal como se hacía en la Casa de Contratación. La información de “todo lo que se vaya descubriendo y averiguando” debía servir, ante todo, para corregir las cartas marítimas.

Por otra parte, todos esos datos e informes debían ser custodiados celosamente para evitar que cayeran en manos de las potencias enemigas de España, que pretendían arrebatarle el control de las rutas tanto del Atlántico como del Pacífico. Este sigilo exigido por la Corona durante toda la época colonial se extendía también a las obras histórico-geográficas redactadas tanto por el cosmógrafo-cronista mayor como por pilotos y capitanes. Algunos de esos “derroteros”, “descripciones” y “atlas” sólo fueron publicados hasta el siglo XIX y otros permanecen inéditos. Del rigor con que la Corona exigía guardar esos testimonios da fe una nota manuscrita del propio Felipe II puesta al margen del texto original, también manuscrito, de la célebre *Geografía y descripción de las Indias* (1574), obra escrita por el primer cosmógrafo-cronista Juan López de Velasco. El texto de la nota puesta por el Rey después de leer la obra dice así:

Y habiendo antes de ahora pensado en estos libros de la descripción de todas las Indias, me ha parecido que por ser de la calidad que son, y por el inconveniente que se podría seguir si anduviesen en muchas manos, como podría ser faltando alguno de los que se tienen o mudándose de ese Consejo, pues para solos los de él son a propósito, sería bien que todos se recogiesen en el Consejo y se pusiesen en algún cajón cerrado.

De esta forma el celo gubernamental sustrajo a la investigación diversas obras que podrían resultar peligrosas políticamente, de caer en poder de países como Holanda o Inglaterra. Las obras náutico-geográficas de Juan López de Velasco (1574), Juan Escalante de Mendoza (1575), Baltasar Vellerino de Villalobos (1592) y Nicolás de Cardona (1628), así como el anónimo *Derrotero para la navegación de los puertos de España a los de América*, que data de fines del siglo xvi, fueron cautelosamente archivadas y permanecieron prácticamente ignoradas hasta bien entrado el siglo xix. Todas contienen pormenorizadas descripciones de la configuración geográfica de las Indias, y tres de ellas —la de Escalante, la de Cardona y el *Derrotero*— incluyen numerosos planos y mapas de las islas, puertos, bahías y otros accidentes geográficos. Todos estos estudios están animados de un propósito científico semejante: el de “explicar las derrotas de ida y vuelta” a los puertos e islas de la América septentrional y meridional, “haciendo la descripción de aquellas tierras, de sus mares, corrientes, vientos, tormentas, meteoros y otros fenómenos ordinarios de la navegación”. López de Velasco explicó que estos derroteros eran conocidos como la “carrera de las Indias”. En una página de su obra hizo una descripción de este término que, a pesar de su extensión, conviene transcribir íntegra para comprender cuáles eran los límites de las rutas oceánicas recorridas por los españoles en la América septentrional a finales del siglo xvi y principios del xvii:

La navegación primera y más cursada, que llaman *carrera de Indias*, es desde el puerto de Sanlúcar de Barrameda en España para el puerto de San Juan de Ulúa en la Nueva España, hasta donde se navegan como mil y setecientas leguas de viaje en dos meses y medio, más o menos, según los tiempos; y para el Nombre de Dios en Tierrafirme hasta donde, desde España, se navegan mil y cuatrocientas leguas en dos meses largos. Para entrambas partes se va por las Canarias y de allí para la isla Dominica, hasta bajar en 15 o 15 y medio grados de altura, a que están dichas islas, desde donde se aparta la derrota que va a Nueva España, y la que al Nombre de Dios, que

de estas islas es muy poco lo que baja de altura, hasta Cartagena, y desde allí al Nombre de Dios; y la que va a la Nueva España, torna desde las islas sobre dichas a subir en altura hasta 17 grados y más, por donde va costeando por la parte del mediodía las islas de San Juan y la Española, y por encima de la Jamaica y la isla de Cuba, hasta lo más occidental de ella, y desde allí a San Juan de Ulúa. Y a la vuelta vuelven entrambas las flotas de Nombre de Dios y la Nueva España a juntarse en el puerto de la Habana, que es en la costa setentrional de la isla de Cuba, desde donde desembocan la Canal de Bahama y vienen en conserva, subiendo hasta 39 grados de altura, hasta las islas de las Azores, donde toman refresco y desde allí vienen a reconocer el cabo de San Vicente, en España, en la costa de Portugal, y desde allí al puerto de Sanlúcar, habiendo navegado de tornaviaje desde las Indias a España, las flotas que vienen de Nombre de Dios, como mil y setecientas leguas, y la de la Nueva España mil y cuatrocientas, todo según la estimación de los marineros.

De hecho, a finales del siglo xvi las rutas oceánicas más transitadas por los navíos españoles eran tres: la que iba de España a Tierra Firme o a la Nueva España, la que comunicaba las costas del Pacífico entre Perú y México, y la que desde los puertos occidentales de la Nueva España unía a América con las islas de Asia y Oceanía. Existían además los viajes en circuitos marítimos bien delimitados como era el de las Antillas, y que eran independientes de las rutas a la Nueva España o a Tierra Firme. En esa ruta caribeña quedaban conectadas las poblaciones de la gobernación de Honduras, e incluso las de la audiencia de Guatemala, con las Antillas mayores, principalmente la Española y Jamaica. La gobernación de Nicaragua, que tenía su población asentada en la costa del Pacífico, se comunicaba con el Atlántico navegando a través de los lagos de Managua y Nicaragua y del río San Juan. Desde la desembocadura de este río, costeando, llegaban a Nombre de Dios y de allí a Cartagena de Indias. En cuanto a los viajes por el océano Pacífico, ya existía a fines del siglo xvi comunicación entre diversos puertos mexicanos y los puertos de Centroamérica y Sudamérica, hasta llegar a algunos puntos de la costa meridional de Chile. Este sistema enlazaba casi todas las tierras occidentales de América, excepción hecha de la zona septentrional, es decir California. Los principales puntos de este derrotero del Pacífico eran: Navidad, Acapulco, Sonsonate, Panamá, Guayaquil, Callao, La Serena y Santiago. La comunicación con Asia y Oceanía se hacía principalmente desde el puerto de Navidad. En poco más de dos meses se llegaba a las Molucas y a Filipinas. El tornaviaje se

hacia tomando altura y aprovechando los vientos del noroeste. Duraba un mínimo de cuatro meses.

Es interesante señalar que hacia finales del siglo xvi los cosmógrafos aún no incluían la costa septentrional del océano Pacífico dentro de sus descripciones geográficas de América, ya que la consideraban, a pesar de los viajes de algunos navegantes, como *tierra incógnita*. De acuerdo con los principales geógrafos de este periodo, América estaba rodeada por dos grandes mares: el del Norte (Atlántico) y el del Sur (Pacífico). López de Velasco divide el primero de ellos en siete zonas, que son las siguientes: 1. “Golfo de las Yeguas”, que abarcaba la región comprendida entre España y las Canarias. Se llama así, dice este cosmógrafo, “por algunas yeguas que se echaron en él de las que se llevaban a las Indias al principio”. 2. “Golfo de las Azores o de España”, que comprendía la zona existente entre las islas Azores y las costas ibéricas. 3. “Golfo grande del Mar Océano”, que comprendía la vasta región entre las islas Canarias y las de Barlovento. 4. “Mar del Mediodía o del Brasil”, que abarcaba desde las costas brasileñas hasta el estrecho —también llamado mar— de Magallanes. 5. “Golfo del Norte o del Sargazo”, que es el que está situado entre la Florida y las Azores, y que se llamaba así porque en la ruta de regreso a España en invierno se atravesaba parte de este mar. 6. “Mar de Bacallaos o Terranova”, que comprendía la zona próxima a las costas americanas, al norte del Golfo del Sargazo. 7. El mar que quedaba delimitado por las Antillas y las costas continentales se dividía en dos grandes golfos: el Golfo de la Nueva España o Golfo de México y el Golfo de Tierra Firme, que iba desde las islas de Barlovento hasta Yucatán.

En cuanto al mar del Sur, el mismo autor nos dice que por su posición respecto de América también se le llama “mar del Poniente” y que “por no ser tan navegado no tiene tantas distinciones”. Lo divide en cuatro grandes zonas: 1. “La Mar del Sur de la Nueva España, lo que hay de la costa occidental de ella”. 2. “Del Perú, lo que va por aquellas provincias, y Mar Pacífico lo que hay desde Chile hasta el Estrecho”. 3. “Golfo del Maluco o islas del Poniente la mar donde ellas caen”. 4. “Golfo de la China lo que va corriendo por aquella costa”.

Ésta era la concepción geográfica de América a finales del siglo xvi, o sea, en el momento en que la Corona española decide reiniciar las exploraciones hacia la costa septentrional del Pacífico y fundar una colonia en el litoral interior de la península de California para incorporarla de hecho a su vasto imperio americano. Esta iniciativa tenía un

doble propósito: establecer un puesto estratégico avanzado que protegiera a los galeones provenientes de Filipinas, que al tomar altura en el tornaviaje atravesaban por aguas del Pacífico septentrional, donde merodeaban los piratas ingleses y holandeses; y, además, que sirviera de punto de partida para la colonización de la península tanto en su litoral interior como en el exterior. En este renovado interés del gobierno español por reconocer esas regiones jugó también un importante papel la búsqueda del imaginario estrecho de Anián que, según las ideas geográficas de esa época, unía el Atlántico Norte con el Pacífico. Además, existían razones económicas para impulsar la penetración colonizadora en la península: la explotación de perlas y el beneficio de los yacimientos de metales preciosos. Todos esos factores combinados hicieron que la Corona encargara a diversos navegantes que venían de Filipinas el reconocimiento geográfico de esas costas. Así se sucedieron los viajes de Francisco Gali en 1584, de Pedro de Unamuno en 1587 y de Sebastián Rodríguez Cermeño en 1595. Todos ellos confirmaron las dificultades que existían para fundar un puesto colonizador en esas regiones tan alejadas de los puertos meridionales del virreinato de la Nueva España. Solamente las exploraciones de Sebastián Vizcaíno, que datan de 1596 y 1602-1603 y que partieron de Acapulco, restablecieron la confianza de la Corona para impulsar la colonización del desconocido océano Pacífico septentrional.

2. LOS TRATADOS DE GEOGRAFÍA

El gran número de obras geográficas impresas o manuscritas elaboradas a raíz del descubrimiento de América no fue sino el reflejo de la forma en que la realidad física del Nuevo Mundo se impuso desde fecha temprana en medio de la aparentemente inquebrantable estructura de la ecumene medieval. En su *Islario general*, que data de alrededor de 1540 y que permaneció inédito mucho tiempo, el cosmógrafo mayor Alonso de Santa Cruz destinó al Nuevo Mundo la cuarta parte de esa obra enciclopédica. Su descripción intentó insertar América en el contexto de la geografía del viejo continente, es decir, dentro de las tres partes de la ecumene aceptada hasta entonces. Describió el Nuevo Mundo desde la península de Labrador hasta la Tierra del Fuego. Recorrió las Antillas, las Bermudas y el norte de América meridional. Describió Yucatán y México, para continuar con Panamá y Brasil. Santa

Cruz entremezcló en su obra geográfica noticias de historia natural y civil, así como copiosos datos antropológicos, demográficos y etnográficos.

Una tentativa semejante, de la cual ya hemos hecho mención al referirnos a la real ordenanza del Consejo de Indias del 24 de septiembre de 1571, es la del también cosmógrafo mayor Juan López de Velasco. En su justamente célebre *Geografía y descripción de las Indias*, en la cual trabajó durante tres años recabando y ordenando una gran cantidad de informes, abarcó múltiples aspectos de la naturaleza de las Indias: clima, vientos, fertilidad, productos, costumbres de sus habitantes, orografía e hidrografía. Además, como ya dijimos, describió pormenorizadamente los territorios de las colonias españolas.

Al fraile carmelita Antonio Vázquez de Espinosa debemos una obra enciclopédica sobre América cuyo título es *Compendio y descripción de las Indias Occidentales*, que también permaneció inédita. Este voluminoso trabajo de varios cientos de folios fue producto de su viaje por la América española realizado entre 1612 y 1621, en el cual recorrió México, Nicaragua, Quito, Perú, Chile, Paraguay y Guatemala. En este dilatado recorrido recogió cuantas noticias pudo acerca de los “lenguajes, condiciones, tratos, ceremonias, ritos, supersticiones e idolatrías” de “los naturales de las Indias en general”, como él mismo lo expresa. Además intercaló relatos históricos junto a las descripciones de la naturaleza; es decir, colocó la historia moral junto a la historia natural, como también podemos verlo en diversas obras sobre el tema elaboradas en esa época. Son valiosas, interesantes e incluso amenas las largas páginas que destinó a la minería de regiones como Huancavelica o Potosí, o las detalladas descripciones que hizo de los terremotos que azotaban a algunas regiones del Nuevo Mundo. Asimismo, se detuvo en temas específicamente etnográficos cuando describió la vida, costumbres, lengua y religión de los caribes, araucos, guaicurús y charrúas. Vázquez de Espinosa incluyó diversas reflexiones acerca de la administración española y los abusos que cometían los funcionarios reales en su trato con los naturales, lo que lo obligó a emitir severas censuras contra la burocracia colonial y —como fraile que era— a exponer los posibles remedios contra los numerosos atropellos que veía. En este sentido, su obra geográfico-histórica trascendió a sus fines inmediatos y se convirtió en una auténtica requisitoria moral dirigida a la Corona. Ello explica quizá que la impresión de la obra que llegó hasta la hoja 112 haya quedado interrumpida ahí, y que haya desaparecido de la mirada de los historiadores durante más de trescientos años.

Lugar prominente dentro de esta serie de obras de conjunto son las *Descripciones geographicas e hydrographicas* del navegante Nicolás de Cardona, que en cierta forma representan el epítome geográfico sobre América de todo el siglo XVI y los primeros dos decenios del XVII. Es por ello que conviene que nos detengamos en ellas, a efecto de exponer su contenido y significado con cierta amplitud. Cardona partió de Cádiz en 1613, con seis navíos. Pasó a Puerto Rico, donde ayudó a abastecer los alimentos a la población en un momento de necesidad. Se dirigió luego a Veracruz, y ya en la Nueva España se dispuso a cumplir con un convenio firmado con la Corona, pasando a California a efecto de explorar sus recursos naturales, sobre todo el de la pesca de perlas. Llegó al puerto de Acapulco, donde equipó tres nuevas naves y una lancha y zarpó hacia el norte el 21 de marzo de 1615. Llevaba un buen contingente de marinos, dos sacerdotes franciscanos y un grupo de negros que servirían de buzos en las pesquerías de perlas. Tocó Mazatlán y unos días después llegaba a Cabo San Lucas, en la punta meridional de la península. En este sitio desembarcó con los franciscanos y con sus marinos y “plantando en tierra la Cruz de Cristo tomó posesión de ella, por fe de escribano, en nombre de Su Majestad, el Rey de España”. Se dirigió entonces hacia el norte del golfo recorriendo el litoral oriental de la península. Reconoció la bahía de La Paz en los 24° de latitud y llegó a los 27° a una playa arbolada a la que denominó Playa Hermosa. En este punto, al desembarcar para abastecerse de agua, él y sus hombres fueron atacados por más de seiscientos indígenas. Continuó su viaje y llegó, muy probablemente, hasta los 30°, iniciando entonces el reconocimiento de la costa occidental del golfo. Llegaba el invierno después de nueve meses de viaje, lo que, aunado a la falta de agua y bastimentos, los obligó a regresar. Tocaron la desembocadura del río Mayo, poblado por indios de las misiones jesuitas. Después de dejar la costa de Sinaloa anclaron en Acapulco. Ahí Cardona dispuso que dos navíos quedaran al mando de Juan de Iturbe, quien saldría hacia Sinaloa nuevamente, con el fin de abastecerse para partir a California y reiniciar la pesquería de perlas. Mientras tanto, Cardona se dirigió hacia la ciudad de México para informar sobre su viaje al virrey. Poco después regresó a Acapulco para reiniciar sus exploraciones en el golfo. Se dirigió hacia el norte, y al pasar frente a Zacatula fue sorprendido por el pirata holandés Joris Van Spilbergen, quien atacó a la nave capitana, llamada *San Francisco*, al mando de Cardona, apoderándose del barco y haciendo varios prisioneros. Cardona y otros 12

hombres lograron escapar a nado hasta Zacatula. Ahí se encontró con el capitán Sebastián Vizcaíno, quien aprovechó que Spilbergen desembarcara en Salagua para abastecerse de fruta y agua, para tenderle una emboscada. Después de una escaramuza en la que sólo hubo algunas bajas de ambos bandos, Spilbergen logró escapar. Entonces Vizcaíno le envió al virrey una carta donde le informaba lo sucedido. Cardona fue el encargado de llevar ese informe. Poco después regresaba de nuevo a Acapulco. Ahí se vio precisado a tomar parte en la construcción del fuerte de San Diego y en la fabricación de culebrinas. Después de varias tentativas fallidas de reiniciar sus viajes a la costa septentrional, decidió regresar a España, donde en 1618 redactó un *Memorial* dirigido al rey, en el cual le exponía las dificultades insuperables por las que se había visto imposibilitado a establecer pesquerías de perlas en California, lo que hubiera compensado los gastos de expedición. Hacía patente su deseo de regresar a California y emprender de nuevo la pesquería de perlas, así como la explotación de las minas de oro y plata que afirmaba haber encontrado en esa región y cuya ley, según decía, era buena, lo que permitía su beneficio. En ese mismo documento solicitaba que el convenio original por 10 años acordado con la Corona contara a partir del momento en que las pesquerías quedaran establecidas, así como la concesión del monopolio de la explotación desde Tehuantepec hasta los 38° de latitud norte. Además, solicitaba 40 mil ducados como préstamo, comprometiéndose a pagarlos con los beneficios obtenidos en esa nueva empresa. La Corona le concedió todo, menos el préstamo.

De los logros de este primer viaje dio noticia el mismo Cardona en 1634 en una "Petición", de fecha 9 de octubre, en la cual escribió que en esa empresa marítima había recorrido:

...la costa de la mar del Sur y el Brazo o seno de la dicha California desde veinte y tres grados y medio que comienza el cabo de San Lucas por la parte de afuera por el rumbo del noroeste sudeste hasta treinta y cuatro grados al norte que son más de seiscientas leguas de ambas costas, en cuyo distrito descubrió muchos puertos, ensenadas, esteros, islas, salinas y ostiales de perlas, saltando a tierra en todos e investigando la calidad de ella y de los naturales, su condición y ritos, tratándolos de paz por medio de rescates para reconocer la fertilidad, abundancia y riqueza de dicho Reino y de sus minerales de oro y plata, y la abundancia y calidad de las perlas que se crían en toda aquella costa y en el puerto de La Paz, que está en veinticinco gra-

dos de altura por la banda de dentro que es el más a propósito y seguro de los que ha descubierto en dicha costa donde dejó plantada en señal de posesión la Santísima Cruz.

Cardona permaneció en España solamente un año, pues en 1619 la compañía comercial a la cual pertenecía decidió continuar con la empresa y le encomendó a él la realización del segundo viaje. Al partir llevaba consigo cédulas reales que acreditaban sus facultades, así como buena cantidad de recursos, provisiones y aparatos de pesca de perlas. Partió de España en los galeones en que iba el marqués de Cadereita, y en ellos llegó a Cartagena de Indias en julio de 1619. Este segundo viaje resultó más accidentado que el primero, hasta el punto de que Cardona no pudo llegar nunca a California, como era su propósito principal y el objetivo de esta nueva empresa.

De Cartagena partió hacia Portobelo, con la intención de transportar de ahí sus pertrechos a Panamá y de este puerto zarpar a California. Así lo hizo, y al llegar a Panamá adquirió dos naves y una lancha, las cuales, bien abastecidas, partieron, pasado un tiempo, con rumbo a Costa Rica. Desembarcó en la playa de Sonsonate y decidió enviar sus naves a Acapulco mientras que él, por tierra, se dirigió a la ciudad de México para presentar al virrey las reales cédulas que lo acreditaban y solicitar el nombramiento de cabo del contingente de soldados y marinos que componían su expedición. Lograda la aprobación virreinal y el nombramiento, partió hacia Acapulco. Al llegar a este puerto recibió con disgusto la noticia de que su fragata había naufragado en los bajos de Tehuantepec. Sin embargo, no se desalentó y con empeño y celeridad se puso a construir dos naves nuevas. Aún estaba en esta tarea cuando recibió una orden del virrey de México, el marqués de Gelves, en la cual le ordenaba regresar a la capital para después dirigirse con sus buzos negros a La Habana, vía Veracruz, en una fragata dispuesta para tal fin. El propósito de esta disposición virreinal, que trastocaba completamente los planes de Cardona, era que éste, con su experiencia en la pesca de perlas, ayudara a sacar del fondo del mar “los tesoros de dos galeones del cargo del marqués de Cadereita”, que habían naufragado en los cayos de Maticumbe cuando transportaban mercancías y riquezas valoradas en más de un millón de ducados.

Cardona obedeció puntualmente la orden recibida, y con 14 negros buzos emprendió el rescate de esas riquezas. Esta tarea, que realizó en compañía del capitán Gaspar de Vargas, no tuvo mucho éxito por el

mal tiempo imperante en la zona. Así, después de localizar los galeones hundidos, sus buzos sólo lograron sacar unos cuantos mosquetes, balas y algunas barras de plata; lo principal del tesoro no pudo rescatarse. Sin embargo, esta tarea tuvo un efecto colateral interesante pues Cardona, siempre interesado en los problemas científicos y técnicos, inventó un cierto tipo de aparatos para bucear que permitían, por el bombeo continuo del aire a través de unos conductos, que el buzo pudiera permanecer bastante tiempo bajo el agua.

Cardona volvió a España poco después y presumiblemente continuó en diversas empresas familiares hasta su muerte, sin volver ya a la Nueva España. De hecho, su obra científica estaba concluida y su labor exploradora de diez años en los mares de la América septentrional le había permitido recabar muchos datos geográficos, náuticos y cartográficos que le llevaron a elaborar una obra de valor. Visto desde esta perspectiva, el hombre de ciencia opaca al empresario-comerciante interesado en la explotación de perlas y de metales preciosos; y los autores que han querido ver en él sólo esta última faceta han pasado por alto que sus *Descripciones geográficas* tienen un lugar relevante dentro de las obras cartográficas y náuticas elaboradas en España desde mediados del siglo xvi hasta fines del xvii. Todo esto explica que ese “oscuro navegante” que fue Nicolás de Cardona haya sido olvidado, y con él su obra científica, durante más de tres siglos. Sus aportes al conocimiento del Pacífico septentrional no atrajeron la atención de los cronistas e historiadores de esa región del Nuevo Mundo.

El propósito principal de las *Descripciones geográficas* fue dar a conocer el derrotero del Pacífico boreal, que hasta ese momento había sido omitido por los cosmógrafos españoles, e integrarlo a la concepción geográfica de América que se tenía en esa época. En esto radica la originalidad de su obra: en que es una versión ampliada de las cosmografías de finales del siglo xvi y es el primer derrotero, concebido también como atlas, que abarcaba por vez primera y en un solo volumen las rutas septentrionales del Atlántico y del Pacífico, incluyendo en esta última a la California, que en las cosmografías anteriores aparecía de hecho como “tierra incógnita”. Su importancia estriba entonces en el interés de integrar todas las zonas marítimas de la América septentrional en un solo atlas geográfico, ampliando así la obra de los cosmógrafos anteriores, y en particular la de López de Velasco. Debemos añadir que Cardona fue consciente de la novedad y originalidad de sus trabajos geográficos. En la ya citada “Petición” del 9 de octubre de 1634, Car-

dona afirmó que sus viajes y esfuerzos para alcanzar y reconocer la California lo habían movido a describir y detallar los derroteros desde Cádiz hasta California, y que esta última debía incluirse en el esquema de la geografía del Nuevo Mundo. La obra de Cardona es, entonces, un trabajo geográfico de vastos alcances, cuya finalidad fue la de sintetizar los derroteros de los océanos boreales de las Indias, es decir, combinar los circuitos marítimos de ambas costas del continente, y dar una imagen completa de los dominios de España en la América septentrional. En este sentido su obra tiene un marcado carácter geopolítico.

Para lograr una idea más clara acerca de los aportes geográficos del original texto de Cardona, no está fuera de lugar mencionar el cuadro general de las Indias del antes citado Juan López de Velasco y contrastarlo con el que medio siglo después realizó Cardona. Escribe López de Velasco:

Indias, islas y tierra firme del Mar Océano se llaman las comprendidas en la demarcación de los Reyes de Castilla, porque el Mar Océano, que es lo que cerca toda la Tierra, desde el Estrecho de Gibraltar para afuera, las cerca y rodea por una parte y otra, diferentemente que a lo que llaman la India Oriental, adonde solamente por una parte llega. Divídese generalmente la mar, comprendida en la demarcación de Castilla, en dos mares principales; el que llaman del Norte, que es toda la mar que hay a la parte de Oriente de las Indias descubiertas para España, desde las provincias del Labrador, Terranova y los Bacallaos por la costa de la Florida y Nueva España y Tierra Firme, hasta la Equinoccial y provincias del Brasil, y de ahí abajo hasta llegar al Estrecho de Magallanes; y la mar del Sur, toda la mar que hay por la parte occidental de las líneas desde el Estrecho de Magallanes por toda la costa del Pirú y provincias de Puerto Viejo, y Panamá, Costa Rica, Nicaragua y Nueva España hasta California, y todo lo que allí está descubierto, aunque se va metiendo al norte.

Las *Descripciones geographicas* de Cardona amplían este cuadro en lo referente a la América del Norte. El método que siguió es relativamente sencillo: combinó los datos que reunió en sus dos viajes hasta lograr un cuadro general donde los puntos más importantes de los derroteros de ambos océanos estuvieran representados. Así, en su primer viaje, que inicia en 1613, tocó los siguientes lugares: Cádiz, Veracruz, San Juan de Puerto Rico, ciudad de México, Acapulco, Puerto Marqués, Puerto Navidad, Cabo Corrientes, Puerto de Zalagua, Mazatlán, punta de California (Cabo San Lucas), costa interior de California (hasta aproxi-

madamente los 30°), Playa Hermosa, Puerto de Santa Clara, costa del río Mayo y Zacatula. En cuanto al viaje que inició en 1619, recorrió: Cartagena de Indias, Portobelo, Panamá, Costa Rica, isla de Coiba, río Chiriqui, Golfo de Oza, costa de Nicoya, puerto de Bralijo y playa de Sonsonate, ciudad de México, bajos de Tehuantepec, Veracruz y La Habana. Como es obvio, los puntos marítimos que tocó en ambos viajes configuran los derroteros conocidos, a los que se añade ahora el de California, que en la *Geografía y descripción* de López de Velasco sólo es mencionada como un punto límite y prácticamente desconocido en los confines de la Nueva España. A esto debemos añadir las islas, pobladas y despobladas, que menciona a lo largo de su obra y que hacen un total de 28, y que no figuraban en las geografías del Nuevo Mundo.

De esta forma, el texto de las *Descripciones geográficas* de Cardona nos lleva por los lugares que vio y visitó su autor; o sea, no es un relato de segunda mano como el de la mayor parte de los cosmógrafos de los siglos xvi y xvii. Es además una narración ágil y amena, con frecuencia llena de detalles interesantes y anécdotas de lo que le sucedió, combinadas con las particularidades geográficas de los puntos que describe, su posición, productos y habitantes, todo lo cual manifiesta sus conocimientos náuticos, etnográficos y geográficos. Y en todo ese cuadro de las Indias septentrionales, el lugar que merece la mayor atención de Cardona —y que según él debía también atraer la mirada de la Corona— es California. Por ello, en la “Dedicatoria” de su obra al conde duque de Olivares le dice haber descubierto “la parte incógnita del Gran Reino de California”, lugar de “muchas tierras pisadas y no conocidas” y “mares navegados y no considerados según su calidad y necesidad”. Es, en suma, el cuadro de las Indias septentrionales en el momento en que se inician los descubrimientos geográficos del siglo xvii.

La obra consta de dos secciones bien diferentes que le dan un carácter hasta cierto punto simétrico, ya que una de ellas comprende 20 mapas y la otra 22. De esta forma, Cardona confiere a los dos grandes derroteros de la América septentrional el mismo valor geográfico. Así, los dos circuitos, el del Atlántico y el del Pacífico, se integran en una unidad cartográficamente equilibrada.

Las descripciones geográficas generales de América toman un nuevo impulso a partir del siglo xviii, logrando su punto máximo en la segunda mitad de la centuria. Ése fue el momento de las grandes síntesis, donde se reunieron las obras geográficas, históricas y científicas del siglo anterior, así como las numerosas crónicas de las órdenes religiosas

y los relatos de viajeros. En este marco debemos colocar la *Geografía histórica* (1752) del jesuita Pedro Murillo Velarde, el *Diccionario histórico-geográfico de América* (1786-1789), de Antonio de Alcedo, así como dos obras italianas: el *Dizionario storico-geografico dell' America meridionale* (1771), del jesuita Domingo Coletti, y el *Gazzetiere Americano* (1763), versión ampliada de la obra inglesa del mismo nombre, pero que en esta edición contaba con numerosos mapas generales y locales, así como con diversos grabados de historia natural americana.

La elaboración de descripciones *generales* de América, como las que acabamos de mencionar, corrió paralela a la redacción de tratados *particulares* referentes a las diversas regiones de las posesiones españolas o portuguesas. Así, para las Antillas, primer punto de la expansión ibérica, poseemos los tratados de Alejandro Geraldini, historiador italiano al servicio de los Reyes Católicos y que conoció personalmente a Colón; el de Juan de Echegoyen, oidor que escribió una descripción de Santo Domingo en 1568; el de C. de Rochefort, que data de 1658; el de Charlevoix, que es de 1730, y el de Thomas Jeffreys, que lo es de 1762. A esta sumaria enumeración debemos añadir los textos de Antonio Sánchez Valverde (1785), Íñigo Abad y Lasierra (1788) y Moreau de Saint Mery (1796). La mayor parte de estas obras, y de muchas otras que dejamos de lado, insisten sobre dos puntos básicos: la posición estratégica de las islas que describen y su riqueza natural, sobre todo en tabaco, azúcar, colorantes, algodón y maderas. El carácter geopolítico de las obras se pone de manifiesto en que no son sólo los españoles los que se preocupan por estudiar y describir el archipiélago caribeño, sino también los geógrafos y naturalistas franceses, ingleses y holandeses, quienes la mayoría de las veces estaban al servicio de sus respectivos gobiernos, interesados en la ocupación estratégica de las islas.

No menos estudiada en este sentido fue la región centroamericana. Los nombres de fray Alonso Ponce, Thomas Gage, Francisco de Fuentes y Guzmán, José de Olavarrieta, Pedro Cortés y Larraz, Juan Vázquez de Coronado y Juan Requejo y Salcedo cubren aunque sea parcialmente la nómina de los geógrafos, viajeros o funcionarios que describieron Guatemala, Panamá, Nicaragua, Honduras y Costa Rica.

Por su riqueza, posición y dimensiones, el virreinato de la Nueva España ocupó siempre un lugar de privilegio en los textos geográficos regionales elaborados por científicos peninsulares o americanos. En ellos se recogía no sólo información acerca de las riquezas naturales del país, sino también datos demográficos y estadísticos de importancia.

Por ejemplo, cuando el funcionario del Consejo de Indias Juan Díaz de la Calle publicó en 1646 su *Memorial y noticias sacras de las Indias Occidentales*, expuso, “sin largos discursos ni sobra de palabras”, una extraordinaria descripción de cinco audiencias y reales cancellerías: Santo Domingo, México, Guadalajara, Guatemala y Manila. Se trataba de un trabajo rigurosamente estadístico acerca de su organización administrativa, del número de sus funcionarios y de la calidad y sueldos de los mismos. Asimismo establecía los nombres de las ciudades y pueblos, su posición geográfica y el número de sus habitantes, casas, hospitales y conventos. Años más tarde el cronista franciscano Agustín de Vetancurt intentará una síntesis parecida, pero habría que esperar hasta el siglo XVIII y los primeros años del XIX para que los trabajos geográficos y estadísticos de Villaseñor y Sánchez, Alzate, Barquera, Navarro y Noriega y Humboldt den un cuadro vasto y más completo del virreinato mexicano.

La costa de Venezuela y la desembocadura del Orinoco fueron algunos puntos del continente tocados por los primeros descubridores. Colón, en la relación de su tercer viaje, creyó haber encontrado ahí el paraíso terrenal. Después de los datos dispersos recolectados por algunos viajeros viene la célebre relación de Walter Raleigh publicada en 1596. El autor había recorrido la Guayana el año anterior y dejó una amena descripción de esa dilatada zona de la costa atlántica. De la expedición española de 1647 al mando de Manuel de Ochogavía nos quedó la relación de su capellán, el dominico Jacinto de Carbajal. Ahí se describía el reconocimiento del río Apure que facilitaría la travesía desde la región de Barinas hasta el mar, sin necesidad de cruzar los Andes, para llegar hasta Maracaibo. Pero no fue sino hasta el siglo XVIII cuando se redactó el primer tratado completo sobre esa vasta y hermosa región. El *Orinoco ilustrado*, del jesuita José Gumilla, fue publicado por vez primera en 1745. Es la descripción de un río que envuelve la de todos los territorios que iba recorriendo hasta desembocar en el mar. Menciona sus afluentes y vertientes. Pasa después a referirse a la población: su religión y creencias, su variedad, lengua y costumbres. También incluyó largas secciones sobre la historia natural y una no menos extensa disertación en torno a la comunicación del Orinoco con el Amazonas, comunicación que Gumilla negó que existiese.

A José Solano y a Antonio Caulín debemos dos completas relaciones geográficas redactadas con base en su experiencia personal, que datan respectivamente de 1763 y 1779 y que versan sobre la gobernación de

Venezuela. Solano consagró varias páginas a los ríos y a los productos naturales, así como a la tribu de los guypunanis, e incluso confeccionó un muy completo y elaborado mapa de la región. La obra de Caulín dedica toda la primera sección a la geografía. Ahí intentó rectificar algunas observaciones de Gumilla, entre otras, la de la comunicación del Orinoco con el río Negro a través del Casiquiare, navegación que, afirmaba, se realizaba en sólo cinco días.

Secuela de estas obras son dos textos clásicos. El primero es de François Raymond Depons, agente del gobierno francés en Caracas, quien en 1806 publicó el relato de sus viajes con datos sobre población, leyes, religión, agricultura, comercio y la administración colonial, así como con una amplia descripción del Orinoco y la Guayana. El segundo es el de Alejandro de Humboldt. Su justamente célebre *Viaje a las regiones equinocciales del Nuevo Continente hecho en 1799-1804* contiene la información más amplia y sistemática de toda la zona de Sudamérica que recorrió en su viaje. Según propia confesión, penetró hasta el nacimiento del Orinoco y después de recorrer 500 leguas en 26 días llegó a la capital de Guayana. En una carta que le envió a Manuel de Guevara Vasconcelos, hacía una apretada síntesis de su expedición a esos lugares:

El fruto de este viaje ha sido infinitamente mayor de lo que jamás hubiera podido esperarse. ¡Qué cantidad de vegetales y animales nuevos descubiertos! Cuán interesante es para el hombre que piensa la contemplación de los diversos grados de cultura en que se halla el género humano; desde las naciones vagabundas del Meta, que comen tierra y hormigas, hasta los indios cazadores más civilizados —los piraguas y curasicanas—, que tejen el algodón y lo traen a las misiones para adquirir anzuelos y navajas. ¡Cuántas observaciones astronómicas! Añadiendo mis trabajos a las observaciones que tenemos por La Condamine en el Amazonas, por Ulloa y el gran don Jorge Juan en Quito y a las de Cayena, Surinam y en estas costas hasta Cartagena por don Joaquín Fidalgo, se podrá conseguir con exactitud un mapa de América Meridional en la región situada al norte del Amazonas, es decir, en la parte que comprende las más ricas colonias de la monarquía.

La ciencia geográfica del vasto e ignoto territorio atravesado por el río Amazonas logra su primera síntesis en la obra del jesuita Cristóbal de Acuña. Su *Nuevo descubrimiento del gran río de las Amazonas* data de 1641, y en él se hace un recuento histórico de los reconocimientos y exploraciones realizadas hasta entonces en ese gran río; aunque tam-

bién contiene copiosas noticias de historia natural y etnografía. Con esa obra se inició la vasta producción de los misioneros jesuitas sobre el Amazonas. Desde su llegada a esa zona recogieron numerosas noticias acerca de las poblaciones con las que entraban en contacto. Hasta principios del siglo XIX son numerosas las memorias de misioneros destinadas a dar noticias sobre el país con fines claramente evangelizadores.

Los tratados geográficos de la costa occidental de América del Sur son muy numerosos, sobre todo en el Perú, el centro de la expansión española en la zona meridional del continente. Los nombres de Antonio Bautista de Salazar, Pedro de Lagasca, Diego Méndez, Cosme Bueno y Reginaldo de Lizárraga cubren con sus obras geográficas todo el Pacífico americano austral. Lizárraga era dominico y recorrió Perú, Quito, Chile, Tucumán y el Río de la Plata. En su *Descripción breve* vierte sus personales impresiones de viajero observador y minucioso con un agudo sentido de la naturaleza y de la importancia de los estudios geográficos.

A la provincia de Truxillo en el Perú le cupo el honor de ser objeto de uno de los estudios geográficos y etnográficos más vastos de todo el periodo colonial americano. Los nueve tomos de *Truxillo del Perú en el siglo XVIII* fueron obra del obispo Baltasar Jaime Martínez Compañón. Este ilustrado eclesiástico elaboró una enciclopedia iconográfica de ese obispado que consta de 1 411 dibujos. El texto que los acompañaba, de haber sido escrito, está actualmente perdido. Seis de los nueve tomos están dedicados a la flora y a la fauna. Los tres restantes incluyen mapas corográficos detallados del obispado y sus provincias, así como los planos de sus capitales.

El problema de “la verdadera figura de la Tierra”, que preocupó a los científicos europeos de mediados del siglo XVIII, fue el origen de una de las más fructíferas y famosas expediciones a la América meridional. El propósito del viaje era la medición del meridiano terrestre en el Ecuador, para lo cual la Academia Francesa de Ciencias comisionó en 1735 a los científicos La Condamine, Bouger y Godin, quienes, en compañía de los españoles Jorge Juan y Antonio de Ulloa, debían trasladarse a Quito para realizar ahí sus mediciones geodésicas. Después de efectuados los cálculos, que demostrarían el achatamiento polar del planeta, la expedición se fragmentó. La Condamine intentó y logró descender hasta el Atlántico, en un viaje lleno de aventuras del que nos dejó un enjundioso relato. Señalemos que en la Academia de Quito había contado con la colaboración de dos científicos criollos de valía: Pedro Vicente Maldonado y Juan Magnín.

3. LOS PROGRESOS DE LA NÁUTICA

Es lógico que los avances geográficos hayan hecho del siglo xvi el gran siglo de la náutica española. El arte de navegar ocupó un lugar de indiscutible importancia en la historia de los descubrimientos y colonización del Nuevo Mundo, ya que prácticamente todos los actos de la expansión ibérica fueron realizados surcando mares desconocidos y recorriendo grandes distancias. De hecho, la conquista y colonización de América, así como el comercio y el intercambio cultural entre España, América y Asia estuvieron condicionados por el dominio español sobre las rutas oceánicas. Desde fecha temprana la Corona española comprendió que la articulación de su vasto imperio sólo podría lograrse con un eficiente control de las vías marítimas. A principios del siglo xvii, el escritor Cristóbal Suárez de Figueroa explicó claramente la situación en que se hallaban los dilatados dominios del rey de España y el papel que jugaba en su conservación el dominio de los océanos:

...cuando se halla interpolado con mares el cuerpo de la monarquía, dos remedios sólo son importantísimos para su conservación y defensa: muchos bajeles y mucha gente. Sábese que el señor de la campaña lo viene a ser con facilidad de las ciudades, y que, del mismo modo, quien poseyere el mar tendrá dominio sobre la tierra.

El control del imperio ultramarino de España dependió básicamente de los adelantos náuticos, y éstos a su vez dependieron de los avances en la astronomía de observación, en el cálculo de las longitudes en alta mar y en la adecuada confección de cartas marítimas. Diversos tratados —que a justo título hoy pueden considerarse como clásicos de la historia de la ciencia— fueron publicados por expertos marinos y cosmógrafos españoles desde las primeras décadas del siglo xvi. Los nombres de Pedro de Medina, Martín Cortés, Juan Pérez de Moya, Diego García de Palacio, Andrés García de Céspedes, Rodrigo Zamorano, Martín Fernández de Enciso y Diego Ramírez de Arellano cubren el siglo xvi. La obra del sevillano Pedro de Medina, que explicaba la exactitud de las cartas planas y la invariabilidad de la aguja, fue traducida al inglés, italiano, alemán y francés; y la del aragonés Martín Cortés, en donde demostraba la existencia de un polo magnético diferente del geográfico, fue traducida al inglés, idioma en el que se reeditó varias veces. Según el historiador Martín Fernández de Navarrete —cuya obra póstuma sobre la historia de la náutica española data de 1846—, los marinos his-

panos del siglo xvi eran expertos consumados en las prácticas de cartear o echar el punto, en el uso del astrolabio para calcular las alturas del sol, y de la ballestilla para observar la estrella del norte, y deducir así, por ambos medios, la latitud. Además estudiaron la variación de la aguja, las mareas, los vientos, los métodos de sondar, de observar el orto y ocaso del sol y la manera más precisa de trazar la meridiana.

Varios fueron los elementos que se combinaron para lograr esos avances. En primer lugar debemos mencionar los estudios matemáticos, astronómicos y náuticos establecidos por la Casa de Contratación de Sevilla; en segundo término, la recolección sistemática de datos proporcionados por los marinos españoles, conservados y catalogados en esa misma institución, y por último, el empeño que puso la Corona española en que los expertos corrigieran las cartas de marear, apoyándose en ese cúmulo de información, y perfeccionaran cada vez más los instrumentos de medición. Este último punto fue origen de debates, exámenes y controversias frecuentes entre cosmógrafos y marinos, ya que con el aumento del tráfico trasatlántico fueron cada vez más obvios los defectos y las limitaciones de los planos y cartas de costas, puertos, islas y bajos de los litorales americanos.

Desde los primeros años de la Colonia, había resultado un problema bastante difícil el poder fijar las posiciones geográficas de algunas de las principales ciudades, tales como México, Puebla, La Habana, Quito, Lima, Cartagena, San Juan de Puerto Rico o Veracruz. Sobre todo, el cálculo de la longitud resultaba enormemente complicado y los errores que existían en la fijación de esta coordenada eran particularmente perniciosos para los viajes de navegación de altura, ya fuera comercial o de exploración, puesto que se pensaba que el continente americano estaba más al occidente de lo que en realidad está. Los mapamundis más precisos del siglo xvi, el de Gerard Mercator y el de Abraham Ortelius, ya colocaban al Nuevo Mundo varios grados más al occidente. En las sucesivas ediciones de estos atlas el error en las longitudes permaneció prácticamente sin cambio.

De hecho, la mayoría de los cosmógrafos y astrónomos europeos de los siglos xvi y xvii abordaron, con poco éxito, el "magno problema" que representaba la fijación correcta de las longitudes de los principales puntos de América, aunque cabe decir que sus métodos no carecían en ciertos casos de precisión. Se intentaba medir el mismo fenómeno celeste (un eclipse) con una cronometría adecuada y en dos puntos distintos del globo, o bien, se estudiaba el movimiento de la Luna fijan-

do sus diversas posiciones o coordenadas en unas *Efemérides* que pudieran ser utilizadas aun en alta mar. 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. Con la invención del cronómetro 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 cronómetro. Este último método había sido propuesto desde el siglo xvi por Alonso de Santa Cruz y por Gemma Frisius. 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 pero que cayeron en desuso dada su inexactitud.

A pesar de todos estos métodos y del increíble avance que representó la invención del telescopio, los errores geográficos existían debido sobre todo a la imperfección del instrumental utilizado, a la dificultad que existía para hacer grandes viajes a algunas regiones del Nuevo Mundo (además de que éstos eran rara vez realizados por astrónomos capacitados), a la inexactitud de las tablas y efemérides que se utilizaban, y a que los geógrafos no se ponían de acuerdo respecto del meridiano del cual hacer partir las longitudes. La inexactitud y variedad en los cálculos aparecieron en multitud de obras de los siglos xvi y xvii, que intentaban fijar con el mínimo de error la posición geográfica de los principales puntos de la gran porción de América conocida de entonces, desde los tratados de geografía propiamente dichos hasta las crónicas historiales, pasando por los relatos de viajes y documentos de carácter administrativo. Por otra parte, conviene mencionar que dichos cálculos astronómicos para determinar las diferentes longitudes no fueron monopolios de los geógrafos y astrónomos europeos; las Américas hispana y lusitana de los siglos xvi al xviii tienen en su haber una selecta nómina de científicos preocupados como sus colegas europeos en determinar la posición geográfica correcta del territorio que habitaban. Su preocupación era no sólo de índole utilitaria, ya que con una cartografía correcta podían resultar más provechosas las operaciones comerciales transoceánicas, sea con Europa, sea con Asia u Oceanía, sino que también los animaban propósitos desinteresados y puramente científicos, como fue el caso de Nicolás de Cardona.

En el caso concreto de la Nueva España, desde el siglo xvi existieron empeñosas tentativas de fijar la longitud de la capital del virreinato. En

una carta que el virrey don Antonio de Mendoza le envió al cronista Fernández de Oviedo, de fecha 6 de octubre de 1541, le indicaba que había logrado, por medio de la observación de dos eclipses de Luna, determinar la longitud de la ciudad de México con respecto al meridiano de Toledo. El resultado obtenido era bastante impreciso, pues fijaba la longitud en 8 horas 2 minutos 34 segundos. A pesar de ello, resulta sugestiva la solicitud que le hacía el virrey al cronista de la hora en que el eclipse empezó en Toledo para poder así redondear sus cálculos.

El famoso eclipse de Luna del 23 de septiembre de 1577 fue punto de partida para muchos de los cálculos efectuados en Europa y en América en lo que restaba del siglo XVI y en prácticamente todo el siglo XVII. Varias de las tablas que originó este evento celeste aún eran utilizadas en el siglo XVIII para determinar la longitud de la ciudad de México. A principios del siglo XVII, de una serie de observaciones de varios eclipses, Enrico Martínez fijó la posición en 6 horas 56 minutos 18 segundos, que resulta demasiado desplazada al occidente; y en 1618 Diego de Cisneros la determinó en 5 horas 37 minutos, que guarda, con respecto a la anterior, la enorme diferencia de 1 hora 19 minutos 18 segundos. En 1638 y 1641 el mercedario fray Diego de Rodríguez y el médico Gabriel López de Bonilla calcularon, apoyados en un eclipse de Luna, la longitud del valle de México, obteniendo la asombrosamente precisa determinación de 6 horas 45 minutos 50 segundos, que sólo dista de la realidad la pequeñísima cantidad de ocho décimas de segundo. Cabe mencionar, en legítimo reconocimiento de la calidad científica de ambos astrónomos, que su determinación no sería superada en exactitud hasta la segunda mitad del siglo XIX. A fines del siglo XVII, don Carlos de Sigüenza y Góngora realizó varias observaciones astronómicas que le permitieron calcular la longitud del valle de México, al que fijó la posición en 6 horas 48 minutos 5 segundos, ligeramente más imprecisa que la del padre Rodríguez.

Cuando se recorren las páginas de los tratados de astronomía y cosmografía europeos del siglo XVIII, llama grandemente la atención el profundo desconocimiento que existía en el Viejo Mundo respecto a los logros de los hombres de ciencia americanos que vivieron en dicho siglo y en los dos anteriores. La ignorancia en que estaban los europeos acerca de los americanos ha sido objeto de largos, valiosos y eruditos estudios; aquí únicamente nos concretamos a enfocar ciertos aspectos científicos. Las observaciones del padre Rodríguez y de Sigüenza y Góngora pasaron prácticamente inadvertidas para los estudiosos del otro

lado del Atlántico, que seguían utilizando sus propios datos. Sin embargo, es interesante señalar que el intercambio de datos científicos se dio a menudo entre los hombres de ciencia de la América española. Fray Diego Rodríguez tuvo como discípulo en la Universidad de México a Francisco Ruiz Lozano, peruano, que al regresar a su país ocupó el cargo de cosmógrafo real. A él le envió el padre Rodríguez sus cálculos de 1638 y 1641, y con base en ellos Ruiz Lozano fijó la posición de la ciudad de Lima y otros puntos del virreinato del Perú. Y otro tanto hizo en el siglo XVIII el astrónomo poblano Juan Antonio de Mendoza y González con diversos corresponsales suyos del mismo virreinato.

II. CARTOGRAFÍA

1. PRIMERAS IMÁGENES DE AMÉRICA

LA CARTOGRAFÍA DE LAS TIERRAS NUEVAS se fue configurando al mismo ritmo que los viajes de exploración. Desde el momento en que Colón traza el perfil de la costa septentrional de la Española en forma de rudimentario croquis, se inicia un largo proceso de reconocimiento. La primera imagen de América fue debida a Juan de la Cosa, quien partió del mapa de Paria que Colón envió en 1498 a los Reyes Católicos. Su propio viaje a las Indias le permitió añadir datos personales; y los viajes de Américo Vespucio y otros exploradores le ayudaron a confeccionar en 1500 ese primer mapa de un mundo todavía desconocido para Europa hacía diez años. Es una representación cartográfica de todo el mundo conocido entonces, en la que por vez primera aparece el Nuevo Mundo. Allí están representadas Cuba, La Española, San Juan, Jamaica, y hacia la parte sur, las costas de Tierra Firme atravesadas por el ecuador. Centroamérica no aparece, pero sí está esbozado el golfo de México, la península de Florida y un fragmento de la costa de Norteamérica. Los nombres de esta última provenían de los datos proporcionados por la expedición de Sebastián Cabot de 1497. Interesante resulta señalar que para Juan de la Cosa la porción de tierra correspondiente al Nuevo Mundo que dibuja en su mapa no es sino la prolongación de Asia. La idea de una "cuarta parte del Mundo" era todavía algo inconcebible. El célebre mapa de Martín Waldsemüller data de 1507, y ahí ya aparece el nombre de América, es decir del nuevo continente nunca antes conocido, habiendo sido Américo Vespucio quien por vez primera concibió y expuso la posibilidad de que las tierras a las que Colón había llegado, y que pensó siempre que eran la parte oriental de Asia, eran en realidad un Nuevo Mundo.

El punto donde, desde el año de 1503, se concentraron todos los datos geográficos aportados por los navegantes españoles fue la Casa de Contratación de Sevilla. Esta institución desempeñó un papel preponderante en los inicios de la cartografía americana. En ella laboraron científicos y viajeros como Juan de la Cosa, Américo Vespucio y Andrés

de Morales. El historiador Pedro Mártir de Anglería vio a principios del siglo XVI algunos de los mapas y "cartas de marear" elaborados por ellos. Sin embargo, los testimonios cartográficos de esa primera época de la Casa de Contratación que han llegado hasta hoy son muy escasos, aunque sin duda fueron ellos los primeros en crear la imagen de América para la cartografía universal. Además, a ellos también debemos el perfeccionamiento de las técnicas de confección de mapas. Aparece la carta cuadrada, de grados iguales, los cuales desplazaron a las rosas de los vientos y a los círculos y trazos de las cartas anteriores. Los viejos portulanos medievales fueron paulatinamente descartados.

2. CONSOLIDACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA AMERICANA

En su *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España*, publicado en 1808, Alejandro de Humboldt afirmó que bajo el reinado de Carlos IV España había iniciado un proceso de apertura científica que se reflejaba en la producción cartográfica y en los empeños de la Corona por obtener mapas, cartas y planos fidedignos de los puertos de La Habana y Veracruz, de la desembocadura del Río de la Plata, del territorio del Paraguay o del reino de Quito. De esta forma, el conocimiento geográfico de América se enriquecía notablemente. Según la opinión del científico alemán, en los tres siglos coloniales la cartografía de gran parte del Nuevo Mundo no había progresado ya que, salvo la América septentrional, es decir, la Nueva España, Centroamérica y el Caribe, el resto de las posesiones españolas y lusitanas del continente carecían de un *corpus* cartográfico que reflejara la importancia política y económica que poseían. Humboldt había dividido las posesiones españolas en nueve grandes gobiernos: Perú, Nueva España, Nueva Granada, Guatemala, Puerto Rico, Caracas, Buenos Aires, Chile y La Habana. De estos nueve territorios sólo México y en menor grado Guatemala, Puerto Rico y La Habana poseían una tradición cartográfica digna de ser enumerada y estudiada. La razón de esta riqueza científica y cartográfica la dio Humboldt en forma sumaria:

Entre las colonias sujetas al dominio del rey de España, México ocupa actualmente el primer lugar, tanto por sus riquezas territoriales como por lo favorable de su posición para el comercio con Europa y Asia. No hablamos aquí sino del valor político del país, teniendo en cuenta su actual estado de

civilización, que es muy superior al que se observa en las demás posesiones españolas.

Y añade:

...considerando la gran población del reino de México, el número de ciudades considerables que están cerca unas de otras, el enorme valor del beneficio de los metales y su influencia en el comercio de Europa y Asia; examinando, en fin, el estado de poca cultura que se observa en el resto de la América española, queda justificada la preferencia que la corte de Madrid da, mucho tiempo hace, a México sobre sus demás colonias.

Sea cual fuere nuestra opinión sobre este juicio de Humboldt, es evidente que en la historia de la cartografía americana, enfocada desde un punto de vista estrictamente cuantitativo, la producción de la América septentrional hispánica forma el cúmulo cartográfico más numeroso y rico de todo el continente. Este hecho quizá sea el reflejo del interés de la Corona por esta porción de sus dominios, interés que venía desde el siglo XVI y que fue claramente percibido por Humboldt a principios del XIX. Sin embargo, este proceso de producción de planos y mapas de la Nueva España y de los territorios y mares que la rodeaban atendió también a la lógica interna del proceso colonial ibérico de expansión y colonización en esta parte del Nuevo Mundo. Dicho proceso, que privilegió la cartografía de la América boreal sobre las demás, es el que intentaremos describir en las páginas que siguen.

Los viajes marítimos por los litorales del Atlántico y del Pacífico americanos permitieron configurar, desde la segunda y tercera décadas del siglo XVI, los primeros planos cartográficos, si bien rudimentarios, de ambas costas. Alonso Álvarez de Pineda reconoció la costa del golfo de México y logró llegar en 1519 hasta la desembocadura del río Misisipí. En 1520 Vázquez de Ayllón tocó los 32° de latitud y pocos años después la armada enviada por Hernán Cortés recorría la costa atlántica y tocaba Terranova. Nuevos reconocimientos se suceden a lo largo de ese siglo y del siguiente en la parte septentrional del llamado Seno Mexicano: entre 1686 y 1687 Juan Enríquez Barroto y Martín de Ribas llevan a cabo un viaje de exploración y en 1691 se realiza un importante reconocimiento bajo la dirección de Andrés de Pes, quien viajó en compañía del cosmógrafo real, don Carlos de Sigüenza y Góngora, el cual llevó a cabo un levantamiento geográfico bastante preciso de la región que recorrieron.

También en fecha temprana fueron reconocidos los litorales del océano Pacífico o Mar del Sur, lo que propició la realización de los primeros viajes que vincularían a la Nueva España con las costas asiáticas en un flujo y reflujo que duraría ininterrumpidamente los tres siglos coloniales. En 1527, Álvaro de Saavedra y Cerón partió de Zihuatanejo y en una increíble hazaña marítima logró llegar hasta las Molucas. Tres años más tarde, la expedición de Diego Hurtado de Mendoza recorrió el litoral occidental y pasando por Manzanillo descubrió las Islas Marías. En 1533 la expedición de Fortún Jiménez tocó por vez primera la península californiana y en 1535 la encabezada por Hernán Cortés tocó Cabo San Lucas y bautizó con su nombre al mar que se encierra entre la península y el macizo continental. En 1542 y 1563 se llevaron a cabo dos extraordinarias gestas marítimas debidas, la primera a Ruy López de Villalobos y la segunda a Miguel López de Legazpi. Aquél logró llegar a las islas que bautizó como Filipinas y éste consumó el viaje hasta dicho archipiélago, fundó ahí la ciudad de Manila y envió a fray Andrés de Urdaneta, experto marino, a lo que parecía irrealizable por las condiciones marítimas adversas: el regreso del Asia a América. Esta hazaña tuvo notables repercusiones económicas en el comercio novohispano. Otras expediciones lograron llegar por la costa americana a los 30° de latitud norte, de tal forma que para fines del siglo xvi quedaba reconocido, gracias a los viajes de Sebastián Vizcaíno, buena parte del litoral noroccidental del virreinato. El siglo xvii fue testigo de nuevos reconocimientos, entre los que cabe mencionar el del antes citado Nicolás de Cardona, el de Pedro Porter y Casanate y el de Isidro de Atondo y Antillón, quien en 1683 costeo el litoral de la Alta California acompañado del matemático y astrónomo jesuita Eusebio Francisco Kino. Este sacerdote era un excelente astrónomo práctico y logró levantar un mapa bastante preciso de California, demostrando con ello que no era una isla, como erróneamente se creía.

Durante el siglo xviii el virreinato de Nueva España vio extenderse sus confines hasta regiones septentrionales no alcanzadas en los dos siglos anteriores. Desde el segundo tercio de la centuria se despertó el interés por penetrar hacia los presidios y asentamientos del norte que se localizaban en las llamadas Provincias Internas. Los viajes de reconocimiento por tierra se suceden a todo lo largo del siglo. En 1724 el brigadier Pedro de Rivera emprendió un viaje de inspección que duró cuatro años, durante los cuales recorrió los 24 presidios, lo que le permitió dar valiosos informes al virrey marqués de Casafuerte acerca del

estado que guardaban esas desoladas comarcas del reino. Fruto de ese viaje fue un prolijo y minucioso *Diario*, donde asentó con laconismo y precisión notables las observaciones astronómicas que le permitieron determinar las posiciones geográficas de las localidades visitadas en su largo recorrido. La segunda mitad del siglo vio aparecer diversos relatos de viajeros de todo tipo, tales como clérigos, militares y funcionarios. Todos ellos nos dejaron fielmente consignadas sus observaciones geográficas. La variedad y multiplicidad de estos escritos permitió que fueran conocidas con mayor profundidad grandes zonas del virreinato. Entre ellos cabe mencionar al obispo Pedro Tamarón y Romeral, quien describió la Nueva Vizcaya; a fray Vicente de Santa María, quien se ocupó del Nuevo Santander; al misionero Francisco Antonio Barbastró, quien describió el dilatado territorio de Sonora, y a fray Francisco de Ajofrín, quien en su recorrido por el virreinato recogió valiosos datos geográficos de las zonas que visitó, así como interesantes datos etnográficos o de historia natural. De parecido carácter es la relación escrita por el funcionario español Pedro Alonso O'Crouley, que lleva por título *Idea compendiosa del reyno de Nueva España* (1774). En ella su autor ofreció un sumario geográfico, histórico, antropológico, demográfico, botánico y zoológico de ese vasto territorio, incluyendo zonas que habían sido poco o nada descritas hasta entonces, tales como Nayarit, Nuevo México, Nueva Andalucía, California y los presidios de Paso del Norte y Los Adaes. Además, destinó varios capítulos a retratar las principales ciudades del virreinato, como México, Puebla, Valladolid, Oaxaca, Guadalajara, Durango, Acapulco, Veracruz y Jalapa.

De mayor envergadura para el tema que aquí nos ocupa fue el viaje que en el año de 1766 emprendieron por los territorios del septentrión novohispano el marqués de Rubí y el capitán de ingenieros Nicolás de Lafora, viaje que duraría dos años y que abarcó desde los desiertos de Altar, en los confines del golfo de California, hasta las fértiles llanuras de Nacogdoches, en los límites de la Luisiana. Recorrieron el territorio de Nueva Vizcaya, las estepas y montañas de la Laguna de Mayrán, Parras y Saltillo. Atravesaron Texas, Nuevo León y Nueva Galicia y llegaron a la capital en febrero de 1768, después de haber recorrido más de 12 mil kilómetros. Los frutos de este viaje se recogieron en una valiosa *Relación*, que acompaña al célebre mapa septentrional de Nueva España (1771) de Lafora.

Al mismo tiempo que se realizaban estos viajes de reconocimiento por tierra, se llevaban a efecto diversas expediciones marítimas que, en

clara secuela de sus antecesoras de los siglos XVI y XVII, recorrieron las costas septentrionales del Pacífico americano. En la sexta y séptima décadas del siglo XVIII, antes de que cualquier otra nación europea, con la excepción de Rusia, hubiese alcanzado la costa noroccidental del continente americano, los marinos españoles y novohispanos realizaron una serie de espectaculares viajes a esas latitudes, que los acreditan como los primeros en haberlas alcanzado.

Si las expediciones de los siglos XVI y XVII difícilmente llegaron más arriba de los 42° de latitud boreal, es indudable que las del XVIII superaron con mucho ese límite, ya que reconocieron desde la costa septentrional de California hasta la provincia rusa de Alaska. Uno de los motivos principales que impulsaron a la Corona española a emprender y financiar las expediciones de la costa del Pacífico fue el anuncio de la existencia de establecimientos rusos dedicados al comercio de pieles en territorios que España consideraba suyos. El temor de perder dichas comarcas septentrionales del mal delimitado virreinato agilizó las tareas de reconocimiento y exploración. A ello vinieron a sumarse el interés en participar del lucrativo comercio de pieles, así como los viejos motivos que estimularon la expansión española en los dos siglos anteriores, es decir, la conversión de los indios, la búsqueda del mítico paso interoceánico de Anián, la fundación de factorías y puertos seguros en el Pacífico norte que propiciaran el crecimiento del intercambio comercial con Filipinas y el Oriente y, por último, el impedir que la colonización extranjera penetrara en esas tierras. Todo ello se conjugó para que el gobierno español se determinara a fundar establecimientos en las Californias y a penetrar y asentarse en medio de las avanzadas comerciales rusas. A lo anterior vino a sumarse, desde 1768, la reorganización de las misiones dejadas en esos lugares por los jesuitas, después de la expulsión de la orden de los dominios de España. Gracias al empeño del visitador José de Gálvez se llevaron a cabo en ese año sendas expediciones que por mar y tierra debían alcanzar los puertos de San Diego y Monterey. Los trabajos descriptivos de dos de sus principales miembros, el ingeniero Miguel Costanzó y el misionero fray Juan Crespi, nos permiten determinar la ruta seguida por cada contingente gracias a las informaciones acerca de las posiciones geográficas determinadas astronómicamente de los puntos que tocaron. Sin embargo, la expansión marítima novohispana hacia el Pacífico norte se consolidó hasta el año de 1773, cuando por disposición del virrey Bucareli se reorganizó el puerto de San Blas, de tal forma que para el año siguiente

el alférez Juan Pérez encabezaba la primera expedición de reconocimiento destinada a alcanzar los 60° de latitud. A bordo de la fragata *Santiago*, la expedición logró llegar a los 53°53', donde divisó las montañas del cabo San Cristóbal. Después de alcanzar los 55°49', emprendió el regreso. En agosto de 1774 fondeó en la rada de Nutka, en los 49°30' de latitud norte. Pocos días después tiraba el ancla en el fondeadero del puerto californiano de Monterey. Esta primera expedición había logrado tocar latitudes nunca antes alcanzadas y había realizado la primera descripción de los nativos que habitaban en esas regiones. El virrey Revillagigedo sumalizó, unos 20 años después, el balance final de esa hazaña naval, afirmando que sus logros facilitaron las sucesivas exploraciones que desde entonces se siguieron.

Al retorno de la *Santiago* a San Blas, una segunda exploración fue de inmediato ordenada. Llevaba como comandante a Bruno de Ezeta y como asistente a Juan Pérez. La fragata *Santiago* fue reacondicionada e iba acompañada de la goleta *Sonora*, a las órdenes de Juan Francisco de la Bodega y Cuadra, quien llevaba como piloto a Antonio Maurelle. En marzo de 1775 las naves se hicieron a la vela en San Blas. Esta expedición reconoció los puertos de Sitka, la bahía de Bucareli y la desembocadura del río Columbia. A su regreso a San Blas en noviembre de ese año, habían quedado reconocidos los territorios comprendidos entre los 42 y los 55° de latitud, con lo que esa dilatada porción septentrional de América había quedado vinculada por mar a los confines más remotos del virreinato de la Nueva España.

El éxito de esta expedición impulsó a la Corona a ordenar en 1776 un nuevo viaje de reconocimiento, que por diversas circunstancias hubo de ser diferido hasta principios de 1779, cuando dos naves, la *Princesa* y la *Favorita*, a las órdenes de Ignacio Arteaga y de Bodega y Cuadra zarparon de San Blas. Su propósito era el de alcanzar los 70° de latitud boreal. En abril atravesaban el paralelo situado en los 54° y pocos días después tiraban el ancla en la bahía de Bucareli. En julio zarparon nuevamente reconociendo el monte San Elías, la isla del Carmen y el puerto de Santiago. Desde este último punto fue enviado un bote a precisar la existencia del buscado y mítico estrecho de Anián, o sea, el paso entre el Pacífico y el Atlántico. Al arribar Arteaga a ese puerto se adelantó en 14 años a los descubrimientos de Vancouver, aunque fue de escasos meses posterior al arribo independiente del inglés Cook. Después de alcanzar los 59°08', es decir, hasta la ensenada de Nuestra Señora de Regla, la expedición retornó a San Blas. El reconocimiento ayudó a con-

solidar los anteriores descubrimientos, de tal forma que la Corona española pudo afirmar que sus dominios en el Pacífico norte llegaban hasta los 58° de latitud y que dicha posesión estaba asegurada y garantizada por los reconocimientos realizados por las expediciones de 1774, 1775 y 1779.

Durante una década España vivió en relativa tranquilidad respecto de los territorios que sus osados navegantes le acababan de ganar. Sin embargo, a medida que corrían los años ochenta el peligro de perderlos por efecto de los continuos avances de otras naciones llevó a la Corona una vez más a decidirse a actuar para conservarlos, desafiando abiertamente esas amenazas. Uno de los primeros pasos que se dieron fue ocupar el puerto de Nutka y emprender el reconocimiento de los establecimientos rusos. Con este propósito zarpó de San Blas, en marzo de 1788, una expedición de dos navíos, el *Princesa* y el *San Carlos*, a las órdenes del alférez Esteban José Martínez y el piloto Gonzalo López de Haro. Las naves tocaron Nutka y alcanzaron los 61°, reconociendo los cuatro establecimientos que los rusos poseían en Onalaska. Dos exploraciones posteriores, al mando de Salvador Fidalgo (1790) y de Manuel Quimper y Francisco Eliza (1790-1792), entraron nuevamente en contacto con los rusos en los 60° de latitud y consolidaron, por algún tiempo, la estratégica ocupación española de Nutka.

En 1789 el gobierno español se decidió a patrocinar un viaje de circunnavegación alrededor del mundo, con fines científicos, a semejanza de los realizados por ingleses y franceses. Dos corbetas, la *Descubierta* y la *Atrevida*, fueron acondicionadas para este cometido; ambas fueron puestas bajo el mando del capitán Alejandro Malaspina, quien debía realizar cálculos astronómicos de utilidad geográfica, así como otro tipo de observaciones científicas de los puntos que tocara en su viaje. Al efecto le fueron adscritos a la expedición varios distinguidos botánicos, naturalistas y dibujantes, quienes desarrollaron una labor científica de gran valía. Los navíos partieron de Cádiz en julio de 1789, y después de haber realizado detenidas exploraciones en ambas costas de América del Sur, anclaron en Acapulco en febrero de 1791. Tres meses más tarde zarpaban hacia las costas noroccidentales de América hasta llegar a los 60°. Al regreso visitaron Nutka, San Francisco y Monterey, de los cuales fijaron la posición geográfica por medio de precisas observaciones astronómicas. El gran acervo de información científica que esta expedición logró reunir forma uno de los más importantes legados de la ciencia ilustrada novohispana.

Otra espectacular hazaña marítima, contemporánea de la anterior, cierra las exploraciones españolas del Pacífico septentrional en el siglo XVIII: la realizada por los capitanes de fragata Dionisio Alcalá Galiano y Cayetano Valdez a bordo de las goletas *Sutil* y *Mexicana*, las cuales zarparon de Acapulco en marzo de 1792. Su cometido era verificar la existencia del tan famoso como imaginario Paso del Norte, que presumiblemente unía al océano Pacífico con las bahías de Hudson y Baffin. Sus pesquisas les mostraron la inexistencia de dicho paso, con lo que a su retorno había sido completamente descartada esa vieja suposición que por largos años había logrado desvelar a los geógrafos más rigurosos.

A pesar del cuantioso legado cartográfico dieciochesco que existe de las costas orientales del virreinato novohispano, es evidente que los viajes de reconocimiento del golfo de México no tuvieron ni la entidad ni la frecuencia de los realizados en los litorales occidentales, que acabamos brevemente de reseñar. Desde 1765 se emprendió el reconocimiento sistemático de las costas comprendidas entre Alvarado y Poquilla de Piedra. Cuando en 1776 la flota de Indias encabezada por Antonio de Ulloa arribó a Veracruz, fue preocupación de este científico realizar levantamientos cartográficos del puerto y del litoral del Seno Mexicano. Auxiliado por los oficiales de su flota, logró confeccionar 14 cartas y planos que serían aprovechados en 1793 por Carlos de Urrutia en la elaboración de su célebre mapa del virreinato. Unos años más tarde, el teniente de fragata José de Evia ejecutó una orden virreinal para reconocer la costa del Golfo desde el cabo de San Blas hasta el río Pascaguila. Después de realizada esta disposición, Evia rindió un Informe, datado en Nueva Orleans el primero de diciembre de 1784, que iba acompañado de los planos de la costa y los puertos. Por una nueva orden del 5 de abril de 1786, se comisionó al mismo Evia para que practicara, de manera similar, el reconocimiento de la costa del Nuevo Reino de León, desde el río de Tampico hasta la bahía de San Bernardo, levantando los planos de la costa y los puertos como en su anterior expedición. A pesar del interés que puedan guardar estos trabajos, es evidente que eran sólo descripciones parciales de un litoral dilatado. Humboldt se lamentaba de que hasta ese momento las costas orientales de México, al norte de Veracruz, hubieran sido perfiladas cartográficamente con tan poca exactitud. Afirmaba que la parte comprendida entre el embocadero del río Bravo del Norte y el del Misisipí era prácticamente desconocida. A pesar de ello, dos cartógrafos comisionados por

la Corona, los ingenieros Cevallos y Herrera, habían iniciado por entonces levantamientos de planos exactos de esas regiones áridas y desiertas, provistos para ello de excelentes instrumentos ingleses de medición. Esta expedición, que hizo acopio de valiosos datos astronómicos de la costa del golfo de México, intentó determinar la posición exacta de la desembocadura del río Coatzacoalcos, al sudeste de Veracruz. Su objetivo era remontar ese río para estudiar la viabilidad del viejo proyecto de construcción de un canal de comunicación que debía unir el mar de las Antillas con el océano Pacífico, midiendo, con ese fin, la anchura del istmo de Tehuantepec y fijando la posición del puerto de este nombre y de la barra de San Francisco, en la desembocadura del río Chimalapa. Este ambicioso proyecto, que perduraría a todo lo largo del siglo XIX, ya había sido estudiado desde 1774 por el ingeniero Agustín Crame, quien fue comisionado para determinar si era factible remontar el Coatzacoalcos para que sirviera como vía de comunicación entre Veracruz y San Blas, ya que la ruta por tierra, que atravesaba por la ciudad de México, era larga y costosa. El abasto de efectos militares a los puertos del Pacífico, que custodiaban los establecimientos de las Californias, resultaba por este motivo difícil y poco favorecedor para las empresas marítimas españolas hacia las regiones septentrionales de dicho océano. Crame reconoció el río Coatzacoalcos y levantó un plano del istmo; pero como sus informes resultaron desfavorables al proyecto, éste fue abandonado. No obstante, al poco tiempo fue nuevamente planteado, y el virrey Bucareli comisionó al coronel de ingenieros Miguel del Corral y al capitán de fragata Joaquín Aranda para que reconocieran la costa desde la barra de Alvarado hasta la de Coatzacoalcos y el interior del istmo de Tehuantepec. La exploración duró de octubre de 1776 a julio de 1777. Fueron navegados los ríos y examinada la zona del istmo con el fin de dilucidar si era o no posible comunicar por ahí el Atlántico con el Pacífico. Los comisionados levantaron un plano y concluyeron, tras un minucioso examen, que el paso era imposible y que en caso de que pudiera realizarse resultaría de muy poca utilidad, ya que los ahorros en el transporte no compensarían los gastos necesarios para practicar la construcción del canal.

En los años de 1791 y 1792 el sabio astrónomo y geógrafo José Joaquín Ferrer determinó las posiciones de Veracruz y de otros muchos puntos de la costa del Seno Mexicano. Sus cálculos eran bastante precisos y fueron utilizados por Humboldt para fijar las posiciones del camino de México a Veracruz, así como para corregir el mapa que lleva

por título *Carta esférica que comprende las costas del Seno Mexicano*, publicado, en virtud de una real orden, por el Depósito Hidrográfico de Madrid en 1799 y reimpresso con correcciones en 1803. Esta carta es el epítome cartográfico del Golfo de México durante el siglo XVIII.

Más abundantes fueron desde el siglo XVI las observaciones astronómicas realizadas con fines geográficos en el territorio del virreinato situado al sur de los 30° de latitud, que comprendía las audiencias de México y de Nueva Galicia. Durante el primer siglo de la Colonia las determinaciones adolecían de graves imprecisiones, y los planos y mapas que se levantaron con base en esa información no eran muy confiables. No sería sino hasta el siglo XVII cuando los cálculos fueron hechos con mayor rigor, e inclusive, en algunos casos, con precisión no alcanzada ni aun en el siglo siguiente, como es el caso ya mencionado del cálculo de la longitud de la ciudad de México hecha por el mercenario Diego Rodríguez en 1638. Muchos fueron los científicos que a lo largo de los tres siglos de la dominación española se preocuparon por fijar las posiciones de las principales ciudades, villas y pueblos de esa densa zona del extenso reino de la Nueva España. El reconocimiento y conquista del altiplano en el siglo XVI hizo que esta región del virreinato haya contado desde entonces con algunos datos astronómicos realizados con propósitos cartográficos. En el siglo XVII se acumula este tipo de información que ya se vierte en planos generales y locales. En el XVIII, las coordenadas de la capital y de otras localidades pudieron ser calculadas por astrónomos y agrimensores, quienes levantaron multitud de planos rigurosamente científicos e intentaron confeccionar cartas generales del reino, algunas de las cuales resultan de inapreciable valor como testimonios históricos.

La cartografía producto de los viajes de exploración, conquista o colonización es abundante, de tal forma que una gran parte del legado cartográfico colonial se derivó de ellos. Su finalidad era eminentemente práctica: servía para ayudar a los navegantes y a los colonizadores a encontrar los lugares recién descubiertos o a encontrar otros no visitados todavía pero que creían o adivinaban situados, de acuerdo con informes considerados fidedignos, en los lugares indicados por los mapas. El acopio progresivo de información enriquecía las cartas sucesivas y rectificaba las anteriores. La acumulación de cartas parciales permitía, además, confeccionar mapas más generales; y eso fue lo que ocurrió con la primitiva cartografía novohispana durante el siglo XVI. Los datos

aportados por los viajes de reconocimiento permitieron desde fecha temprana configurar los primeros mapas del territorio y sus litorales. En 1521 Francisco de Garay trazó el primer mapa del Golfo de México basándose en los datos que le allegara Álvarez de Pineda. Seis años más tarde Diego de Rivero, haciendo cuidadoso acopio de los datos existentes, levantó un plano todavía bastante rudimentario, dada la magnitud de la empresa, de buena parte del territorio de Nueva España. La costa del Pacífico fue delineada en el año de 1541 por Domingo del Castillo, con las informaciones obtenidas de las expediciones a California. La conjunción de estos planos y cartas geográficas, y de otros que dejamos de lado, permitió que en la llamada colección de Ramusio apareciera, en 1546, apenas 25 años después de la Conquista, el primer mapa completo de Nueva España; ahí figura Yucatán como península y no como isla, como se había supuesto.

Sin embargo, las dificultades con que se enfrentaba la cartografía científica eran muy grandes, sobre todo cuando se trataba de mapas globales. Sus deficiencias se percibían cuando se les utilizaba en la navegación, pues mostraban estar en total desacuerdo con la realidad. El problema radicaba en que las cartas se construían de acuerdo con viejos patrones heredados de la Edad Media, 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, o sea, mayor mientras más se avanzara mar adentro. Para remediarlo se idearon varias soluciones. Una de ellas fue la de establecer dos escalas de latitud, con lo que se logró únicamente hacer más confusa la lectura de los mapas, pues los cuadrículados que se dibujaban sobre las cartas geográficas no representaban correctamente los ángulos debido a la curvatura de la Tierra. Por otra parte, el cálculo de las longitudes, sobre todo en alta mar, resultaba muy difícil y los datos obtenidos distaban mucho 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 equivocaciones a veces desastrosas, ya que en cualquier punto del mapa resulta-

ba falsa la relación proporcional que se obtenía entre el avance hacia el norte (la latitud) y el avance hacia el oeste (la longitud).

La solución a este problema vino cuando en 1569 Mercator elaboró una tabla de latitudes y longitudes en la que, mediante una proyección matemática, se representaba la curvatura del globo terráqueo. Con este descubrimiento nació la cartografía de precisión, y basta comparar el mapa de la Nueva España que apareció en la edición de 1562 de la *Geografía* de Ptolomeo con el que incluyó Ortelius en su *Theatrum orbis terrarum* (1570) para darnos una idea de la magnitud del avance. En efecto, en los espléndidos *Atlas* de este autor, de Mercator mismo o de Guillaume Blaeu ya es posible percibir, dentro de la carta general de América, la silueta geográfica del virreinato mexicano delineada con la proyección mercatoriana.

A pesar de este evidente adelanto, otro tipo de factores entorpecían los progresos de la cartografía científica. Uno de ellos, mencionado anteriormente, era el secreto en el que el gobierno español envolvía sus descubrimientos geográficos, temeroso de las incursiones de las naciones enemigas, hecho que impedía que los cartógrafos de la nacionalidad que fuera se allegaran datos confiables y verificables. Otro era la imprecisión de las determinaciones realizadas por personas no siempre capacitadas y con un instrumental y unos métodos decididamente rudimentarios, que daban por resultado líneas y perfiles deformados.

Los progresos en la elaboración de mapas generales se hicieron evidentes hacia finales del siglo xvii, cuando Sigüenza y Góngora configuró su carta de la Nueva España que en rigor no fue superada sino hasta el último tercio del siglo xviii por la de José Antonio Alzate. La cartografía general del siglo xviii ya utiliza escalas apropiadas de longitudes y latitudes, las coordenadas se fijan por observaciones astronómicas precisas y se utiliza la proyección cilíndrica referida a coordenadas y a un meridiano base. Si bien la cartografía del siglo xvi, y en buena medida también la del xvii, adolecía de defectos en la representación y localización de montañas y ríos, en el xviii esta grave deficiencia es subsanada en parte: se señalan las cordilleras y los cursos de los ríos con mayor precisión, se aclara la simbología y se utilizan signos convencionales comprensibles.

En este siglo la cartografía general novohispana contó con numerosos representantes. La escuela jesuita destacó con particular relieve ya que abrigó en su seno a toda una serie de eminentes geógrafos que cubrieron con sus trabajos prácticamente toda la vasta amplitud territo-

rial del virreinato. Varios factores coadyuvieron para dar a esta orden religiosa tal sitio dentro de la cartografía mexicana. Los informes geográficos periódicos de los misioneros eran vitales para una eficaz estrategia evangelizadora en zonas ignotas. Un documento gráfico era más útil que una extensa relación. Las zonas de las que los jesuitas proporcionaron informaciones novedosas, originales y precisas fueron el Valle de México, la Baja y la Alta California, Arizona, Nuevo México, Sonora y Sinaloa, de las cuales señalaron con exactitud sus aspectos hidrográficos y orográficos, así como sus misiones, pueblos y puertos marítimos. Sus exploraciones en esas comarcas les permitieron hacer buen acopio de datos geográficos que habrían de ser vertidos en mapas precisos, científicamente diseñados. En este terreno destacan los nombres de los jesuitas Consag, Nentwig, Linck, Venegas y Kino. Este último sabio misionero elaboró 31 mapas, entre los que destacan el de 1701, que muestra la peninsularidad de Baja California, y el de 1710, amplio mapa que representa la Pimería Alta, sus islas, fronteras y los ríos Colorado y Gila. De los materiales proporcionados por Fernando Consag, su compañero Pedro María Nascimben dibujó en 1746 el exactísimo mapa del mar de Cortés que lleva por título *Seno de California y su costa oriental*. Al misionero Juan Jacobo Baegert debemos una obra etnográfica, geográfica, botánica y zoológica realizada entre los indios guaicuras, que va acompañada de un mapa ilustrativo de las misiones californianas de los jesuitas mexicanos. Baegert recogió ahí información de Kino, Consag y Linck. A Francisco Javier Alegre se le atribuyen dos cartas: *Mapa de las misiones mexicanas con su explicación* y *Carta geográfica del hemisferio mexicano*; esta última le sirvió al general Félix María Calleja en sus empresas militares contra el levantamiento insurgente de 1810. Al sabio padre Alegre debemos, además, valiosas referencias a cartas geográficas hoy desaparecidas. En su *Historia de la Compañía de Jesús de Nueva España* dio valiosos informes geográficos acerca de los límites de México, Florida y otras regiones, así como datos acerca de la posición de las ciudades novohispanas. A su correligionario José Rafael Campoy debemos un *Gran mapa de la América septentrional*, que está perdido, y al sabio matemático Ignacio Rafael Coromina otro muy hermoso de título, *Mapa y tabla geográfica de leguas comunes que hay de unos a otros lugares y ciudades principales de la América septentrional*. El valle de México fue delineado desde fecha temprana (c. 1600) por el padre Juan Sánchez Baquero, que según Alegre era "el más hábil y laborioso de cuantos geógrafos ha tenido la América". El mapa del Valle de México y

su desagüe, atribuido a Sigüenza y reimpresso varias veces en el siglo XVIII, al parecer fue dibujado por Sánchez Baquero y copiado por aquél alrededor de 1691, del original conservado en los archivos de la Provincia jesuita novohispana. Un gran mapa grabado del México indígena apareció en 1780 en la *Storia antica del Messico* de Clavijero. Comprende de los 12 a los 22° de latitud y de los 271 a los 284° de longitud. Su título enmarcado en un bello grabado dice así: *Anabuac o sia l'Impero Messicano*. En él, Clavijero se propuso retratar la América septentrional en 1521 a la llegada de los españoles. El mapa abunda en toponímicos de ciudades, ríos y cordilleras y señala las demarcaciones políticas en que estaba dividido.

Fue Humboldt quien por primera vez analizó y estudió los informes y mapas geográficos de la Compañía de Jesús de México y quien también por vez primera valoró sus aportaciones. Su *Ensayo político* contiene numerosas referencias a las observaciones realizadas por los jesuitas para determinar las posiciones de la capital virreinal, Puebla, Guanajuato y otras localidades urbanas, así como de los contornos de Sonora y de la península de California y los litorales del Mar de Cortés. Según el viajero prusiano, fueron los jesuitas los primeros en explorar estas remotas regiones y en verter los datos obtenidos en mapas tan precisos como útiles.

Los científicos novohispanos del siglo XVIII realizaron una labor cartográfica también considerable. El volumen y la calidad de su producción señalan sobre todo a la segunda mitad del siglo como una de las épocas más brillantes de la cartografía mexicana. Dentro de este periodo no sólo ven la luz valiosas cartas geográficas sino también amplios estudios sistemáticos, entre los que destaca el enjundioso *Theatro americano* (1746-1748), de José Antonio de Villaseñor y Sánchez, quien fue cosmógrafo real. Ahí consignó en forma prolija un apreciable cúmulo de noticias y el más amplio catálogo de coordenadas geográficas de muchos puntos del virreinato cuya posición se ignoraba, así como detalladas descripciones locales, demarcaciones, ríos, población y recursos. Este mismo autor criollo dibujó en 1746 un mapa, que probablemente estaba destinado a servir de complemento a su *Theatro* y que porta el título de *Iconismo hidrotérreo o Mapa geographico de la América septentrional*, que comprende de los 263 a los 289° de longitud y de los 16 a los 34° de latitud, lo que le permitió perfilar una apreciable porción del Seno Mexicano septentrional.

De las cartas y mapas más importantes configurados en esos años

podemos mencionar los generales del virreinato de Nueva España debidos a Miguel Costanzó, que lleva las adiciones de Manuel Mascaró. Humboldt, que no era pródigo en elogios, no pudo menos de aquilatar los conocimientos geográficos de Costanzó en los siguientes términos:

Este sabio, tan modesto como profundamente instruido, ha recogido de treinta años a esta parte cuanto tiene relación con el conocimiento geográfico del extenso reino de Nueva España. Es el único oficial de ingenieros que se ha dedicado a examinar profundamente las diferencias en longitud de los puntos más lejanos de la capital. Ha formado por sí mismo muchos planos importantes en los cuales se ve cómo pueden reemplazar, hasta cierto punto, las combinaciones ingeniosas a las observaciones astronómicas. Yo tengo tanta mayor satisfacción en tributar esta justicia al señor Costanzó, tanto más cuando he visto en los archivos de México muchos mapas manuscritos en los cuales las escalas de longitud y de latitud no son más que un adorno accidental.

De la numerosa serie de planos elaborados por este científico sólo mencionaremos el *Plano del puerto y nueva población de San Blas* (1768), su célebre mapa de las Provincias Internas levantado por orden del virrey Bucareli en 1779 y su *Carta reducida del Océano Asiático o Mar del Sur* (1770) grabado por Tomás López. Humboldt menciona también, en la larga lista de mapas que consultó, las cartas generales del virreinato de Velázquez de León (1772), de Carlos de Urrutia (1793) y de Antonio Forcada (1787). A estos mapas de la segunda mitad del siglo XVIII podemos añadir el confeccionado por Alzate en 1767 que lleva por título *Nuevo mapa geográfico de la América septentrional, dividida en obispados y provincias*, que contiene ilustraciones acerca de la flora y fauna de la Nueva España y que fue impreso en París por la Academia de Ciencias en el año de 1775, después de muchas vicisitudes. A este mismo prolífico autor debemos un *Plano geográfico de la mayor parte de la América septentrional española* (1772), y un *Atlas del arzobispado de México* que data de 1767. Para la elaboración de estos *Planos* generales, Alzate hizo uso de varios mapas los cuales enumeró en detalle, lo que nos resulta útil actualmente para conocer la técnica cartográfica empleada durante el siglo XVIII. Este testimonio resulta ser tanto una descripción del *modus operandi* de este autor, como un catálogo de mapas, algunos de los cuales no han logrado llegar hasta nosotros. El fragmento en cuestión es el siguiente:

El modo de remediar nuestra geografía, ínterin tenemos materiales propios para ello (lo que no lograremos sino después de algunos siglos) es el valerse de las personas prácticas, cuyos informes merezcan el asenso a que son acreedores; esto es muy fácil conseguir por medio de los párrocos del reino [...] ¿Qué otros sujetos se hallan con más proporción para formar este edificio? No hay cura que pueda ignorar a qué rumbo, a qué distancia están los lugares de su curato, como también las corrientes de los ríos, dirección de las montañas y demás cosas dignas de atención de su curato. Tampoco pueden ignorar cuáles son los curatos colindantes con el suyo. Y todo esto, ¿no puede dibujarlo y describirlo en una cuartilla de papel y con demasiada facilidad? Pues asentemos que en la Nueva España haya mil curatos; entonces con una resma de papel bien empleada a costa de un cortísimo y sencillo trabajo, veríamos la geografía en un excelente estado; y los que se dedicasen a unir en cuerpo aquellas partes lo ejecutarían muy pronto; pues, como supongo, cada cura especificaba los límites de su curato con los de los vecinos; y cada dibujo o diseño particular, reclamaba los que le pertenecían. La práctica que se ha seguido (muy buena) en otras ocasiones, ha sido el encomendar este negocio a personas empleadas en el gobierno político de las provincias, como cuando reformó el teatro de la Nueva España el extravagante Villa Señor a quien se le entregaron las relaciones de cada alcaldía mayor, las que pudieron servir de mucho, y cuyo último paradero no he podido averiguar por más que lo he solicitado. Este medio, aunque bueno, es muy inferior al que propongo, pues a más de la demasiada extensión que comprende cada alcaldía mayor o provincia respecto de un territorio parroquial, los gobernadores o alcaldes mayores no frecuentan tan a menudo su jurisdicción como el cura la suya, pues la precisión lo lleva a menudo aun al más despreciable arrabal. A más de que un alcalde mayor por razón de que así lo establecen las leyes, poco tiempo reside en un mismo territorio, y por consiguiente no puede tener aquella instrucción topográfica que poseen los curas.

A continuación Alzate detalla las cartas y mapas que utilizó, entre los cuales destacan el de Sigüenza, al que antes ya había aludido, y el “exactísimo” del sabio Velázquez de León:

Mientras carecemos de los materiales competentes, que podemos lograr por este u otro arbitrio semejante, para facilitar la perfección de la geografía, y que los aplicados tengan más proporción a ejecutarlo, mencionaré los mapas de que pueden hacer uso, procurando hacerles este servicio, que a mí me ha costado muchas penas. El General que he dicho de D. Carlos de Sigüenza, es bonísimo. El de las lagunas y contornos de esta ciudad, del mismo autor, que se halla impreso, es de suma perfección. Los del ingeniero

Álvarez Barreyro de todas las Provincias Internas están trabajados sobre buenos materiales, el defecto de ellos es dar a la Nueva España una extensión demasiada del Este a Oeste, en lo que es discutible por la aspereza de los terrenos, tortuosidad de los caminos y escasez de observaciones sobre la longitud. Uno u otro de Sonora, Sinaloa, Nuevo México, Nayarit, construidos por algunos misioneros, son de gran socorro. El de California impreso en Madrid, es razonable. Los del ingeniero Don Miguel Costanzó han de tener el mérito que corresponde a sus grandes conocimientos. El de toda la tierra adentro de Don Nicolás Lafora, no dudo de su bondad; tan solamente lo vi, muy de paso, un día en que me favoreció con mostrármelo. Por orden de las Audiencias de México y Guadalajara se formó un plano de los límites de las jurisdicciones respectivas; como también el de el Nuevo Santander dispuesto por orden de su gobernador Dón Joseph de Escandón. El Illmo. Sr. Don Juan Antonio Lardizábal formó un mapa del Obispado de Puebla; tiene las ventajas de haberlo dispuesto dicho Señor Obispo en el tiempo que iba caminando, y usando de muchas precauciones. No ha muchos días que Don Joaquín de Velázquez concluyó uno de gran parte de esta Nueva España, el que necesariamente está muy bueno en lo general y, en lo que colocó por sus observaciones, exactísimo. Éstos son los mejores mapas de que creo podrá hacer uso el que movido por el bien de la Nación, intente servirla, reduciendo su geografía a mejor estado. No estoy tan poseído de la arrogancia, que entre estos numere el general del Reyno, y particular del Arzobispado, que tengo ejecutado; me falta lo más principal, para darles la perfección posible.

Hasta aquí el prolijo texto explicativo de este sabio, quien, además, en muchas páginas de sus escritos se consagró a estudiar y a perfeccionar de diversos modos la geografía y la topografía mexicanas.

En varias ocasiones Humboldt afirmó que el mapa de Carlos de Urrutia, que representaba la división de la Nueva España en intendencias, le había sido de mucha utilidad para la elaboración de su propia carta general del virreinato. Y ciertamente, el *Plano geográfico de la mayor parte del virreynato de Nueva España* es, desde del punto de vista de la cartografía científica, uno de los más valiosos mapas de toda la época colonial. Se encuentra anexo a la *Noticia geográfica del reyno de Nueva España*, texto de carácter estadístico y demográfico elaborado por Urrutia a petición del segundo conde de Revillagigedo. La carta data de 1793 y fue configurada a efecto de determinar geográficamente los límites de las intendencias y las posiciones de las principales ciudades del reino, según lo estipulado en la Real Ordenanza de intendentes de 1786. Urrutia utilizó los datos que le allegaron varios peritos

(entre los que nombra a diez) encargados de formar el padrón de 1791. Asimismo, reconoció haberse servido de los mapas del Seno Mexicano elaborados por Corral y Aranda y por los pilotos de la flota de Antonio de Ulloa. Utilizó las observaciones de Velázquez de León rectificadas por Costanzó para fijar las coordenadas de la capital, las de Vicente Doz para las de Veracruz y las de Alejandro Malaspina para las de Acapulco. Este bello mapa policromo comprende de los 15 a los 25° de latitud y de los 271 a los 286° de longitud. Marca con detalle ríos, montañas, ciudades y pueblos. Su toponimia es rica y tiene el mérito de señalar 312 sitios de minas, la división en intendencias y los caminos que cruzaban el virreinato en todas direcciones. El *Plano* de Urrutia revela, además, la utilización de las cartas particulares de las intendencias que Bucareli mandó elaborar en el año de 1774; asimismo, es fácil notar que se sirvió de planos como el que Evia levantó de Zacatecas en 1792, lo que le permitió fijar con enorme precisión los límites de las intendencias. Su importancia se percibe cuando vemos que estas últimas fueron el antecedente inmediato de las divisiones políticas del periodo nacional.

Al final de los tiempos coloniales el oratoriano José Antonio Pichardo, anticuario y erudito, emprendió una de las obras geográficas de mayor envergadura de fines del siglo XVIII y principios del XIX. Comisionado por el gobierno español para que estudiara los límites entre Luisiana y Texas, redactó un informe, que se conserva manuscrito, de más de tres mil páginas, que entregó al virrey en 1812. Ahí documentaba ampliamente la evolución histórica de ambos territorios. En 1811 delineó un valioso mapa de título *Nuevo México y tierras adyacentes*, que ampliaba los datos asentados varios decenios antes por Nicolás Lafora en su propia carta de las Provincias Internas de Nueva España. La obra de Pichardo es una especie de epítome geográfico de los territorios septentrionales que, en los primeros decenios después de consumada la Independencia de México, serían objeto de disputas y guerras entre la nueva nación y su vecino del norte.

Los viajes de reconocimiento por tierra produjeron una rica cartografía. La expedición de José de Escandón a la Sierra Gorda a mediados del siglo XVIII permitió perfilar en 1755 parte del Seno Mexicano en la costa del Nuevo Santander. La del franciscano Pedro Font, quien acompañara a Juan Bautista de Anza en el viaje que éste realizó en 1775, para descubrir el paso de Sonora a California, ayudó a fijar con exactitud las latitudes de múltiples puntos de su recorrido, calculadas uti-

lizando un simple cuadrante y las tablas astronómicas de Jorge Juan. A pesar de estas limitaciones resultan bastante precisas, y por este motivo fueron utilizadas por Humboldt para afinar sus propias estimaciones. El primer mapa de Font abarca de los 30 a los 37° de latitud y comprende California, Baja California y parte de Sonora; está fechado en 1776. El segundo abarca de los 28 a los 39° de latitud y perfila en detalle las costas californianas. Está fechado en 1777. A estos viajes debemos añadir el de Bernardo de Mier y Pacheco al Nuevo México y Arizona, que produjo dos hermosos mapas, delineado el primero de ellos por fray Silvestre Vélez y por fray Francisco Domínguez. Abarca de los 33 a los 35° de latitud y está datado en 1778.

La cartografía de los viajes al Pacífico norte es muy abundante, de tal forma que casi no hay punto de los visitados por las expediciones marítimas que no haya sido objeto de un levantamiento, con lo que posteriormente se pudieron configurar cartas más generales. De hecho, los mapas confeccionados entre 1768 y principios del siglo XIX lograron perfilar con indudable precisión todo el litoral entre los 21 y los 60° de latitud boreal. Desde la fundación del puerto de San Blas menudearon los planos de ese estratégico punto de partida de las expediciones. En 1769 aparece uno de los primeros planos que representa la distribución de solares para los primeros colonos del puerto. En 1777 Francisco Maurelle delinea otro plano y en 1778 y 1784 el piloto José Camacho elabora dos más: uno del viaje de San Blas a Roca Partida en Colima y otro del fondeadero de aquel puerto con su arsenal y villa. Finalmente, fruto de la expedición de Bodega y Cuadra de 1792, existe un magnífico *Plano del puerto de San Blas*, datado en 1793, que perteneció a la colección particular del virrey Revillagigedo.

A pesar de que algunas de estas expediciones contaban con instrumental de precisión moderno, a veces las determinaciones de las posiciones (latitud, longitud) se hacían por métodos astronómicos no muy confiables; de ahí la variedad de resultados (las orientaciones de las líneas costeras se hacían por la observación del azimut). Por otra parte, los perfiles de las costas vistas desde el mar eran delineados con gran cuidado (ello explica su exactitud), ya que eso les permitía reconocer nuevamente las costas en recaladas posteriores, además de que desde el punto de vista estratégico eran determinantes esos reconocimientos para justificar ante otras naciones la primacía del descubrimiento y la toma de posesión. Esto nos permite comprender el gran número de perfiles de costas, islas y puertos levantados entre 1772 y 1778, o sea,

en los años en que España vio amenazados sus territorios en el Pacífico norte por efecto de la expansión de los establecimientos rusos. El año de 1772 el piloto José de Cañizares dibujó los perfiles de las islas del Socorro, Santa Catalina, Santa Bárbara y Guadalupe en las costas de California. Cinco años más tarde, el antes mencionado comandante José Camacho delineaba los de las islas de San Benedicto y Todos Santos y levantaba útiles mapas del Cabo San Lucas, las Islas Marías y las Revillagigedo. En 1779 dibujó el mapa de las costas de Alaska frente a la isla de Santa Inés de la Magdalena. Nuevos perfiles de islas o montañas costeras fueron hechos por Juan Pantoja y Arriaga, José Mehei y José Antonio Vázquez, entre 1781 y 1782.

Los planos de puertos también ocuparon a los peritos cartógrafos de las expediciones. Son importantes los dos de Acapulco, uno de 1778 y otro de 1792, de las expediciones de Bodega y Cuadra, el segundo de los cuales fija su posición respecto de San Blas. En este último reconocimiento se levantó un plano de Monterey, en la costa californiana, y se fijó su latitud en los $36^{\circ}36'$ y su longitud respecto de San Blas en los $16^{\circ}36'$. El prolífico comandante Jacinto Caamaño, quien viajó a bordo del navío *Princesa*, elaboró en 1790 siete planos de los principales puertos tocados por su expedición. Dos años después los capitanes Eliza, Quimper y Alcalá Galiano levantaban el famoso plano del estrecho de Juan de Fuca, que aseguraba a los españoles la primacía de los descubrimientos en esa región, comprendida entre los 48 y los 54° de latitud, aun antes de los reconocimientos de Vancouver. Dentro de esta línea de trabajos tendientes a asegurar las posesiones españolas al norte del puerto de San Francisco, están los numerosos planos del estratégico fondeadero de Nutka en los $49^{\circ}35'$ de latitud, tocado por primera vez por la expedición de Juan Pérez en el año de 1774; así como los del puerto de Bucareli en los $55^{\circ}15'$, que descubrió Bodega y Cuadra en 1775, y que fue reconocido en 1779 por los pilotos de la expedición de la *Princesa* y la *Favorita* y en el de 1792 por Jacinto Caamaño, quien perfeccionó los planos anteriores.

El conjunto de estos numerosos planos dio origen a las no menos numerosas cartas generales de la dilatada costa del Pacífico. La expedición de Juan Pérez permitió que José Antonio Vázquez delineara los litorales desde el cabo Mendocino hasta el cabo Corrientes, cubriendo con ello de los 17 a los 42° de latitud. En 1779 se dibujó la costa hasta los $59^{\circ}30'$, o sea, hasta el monte de San Elías. A medida que las expediciones se aventuraban más, alcanzando altas latitudes y navegando en-

tre los hielos polares, era mayor la posibilidad de confeccionar cartas más amplias. El gran mapa de Jacinto Caamaño fechado en 1793 ya abarca hasta los 58° y el de López de Haro llega a los 64°. Pero son sin duda los mapas generales del último decenio del siglo XVIII y principios del XIX los que más valor tienen desde el punto de vista de la historia de la cartografía científica, ya que no sólo abarcaron desde Acapulco hasta Alaska, como es el caso de los de Bodega y Cuadra datados en 1791 y 1793, sino que volvieron a establecer las posiciones de muchos puntos. La célebre carta de Malaspina, que abarca hasta los 60°, fija las posiciones del Cabo San Lucas, Monterey, San Francisco, Nutka, el puerto de Mulgrave y muchos puntos intermedios.

De los mapas generales de la costa oriental, mencionaremos el de Miguel del Corral y Joaquín Aranda, realizado por orden de Bucareli, y el de José Toledo, de 1765, que comprende la Florida, Yucatán y parte de la isla de Cuba, o sea, de los 17 a los 31° de latitud y de los 74° a los 92°30' de longitud al occidente de Cádiz.

Por diversas razones, la obra geográfica de Humboldt compendia los cálculos de la numerosa lista de astrónomos y cartógrafos hasta aquí mencionados y de otros que hemos omitido. Quizás esto explica su opinión acerca de la riqueza cartográfica de México que mencionamos al inicio de este apartado. En su recorrido por el virreinato, el sabio alemán practicó innumerables observaciones astronómicas que vertió, junto con los cálculos de los científicos novohispanos, a los que utilizó, no sin crítica, en su célebre *Atlas*. Su valiosa *Carta general de la Nueva España* abarca desde los 15 hasta los 41° de latitud norte y de los 96 a los 117° de longitud al oeste de París. En la explicación que la acompaña se preocupó de enumerar los materiales que pudo utilizar, sobre todo de las zonas que no recorrió y para las cuales aprovechó los informes que hubo a mano. Según su *Tableau des positions géographiques du Royaume de la Nouvelle Espagne, déterminées par des observations astronomiques*, de las 142 posiciones establecidas, 36 le corresponden a él y 106 a sus informantes, entre quienes destacan Ferrer, Velázquez de León, Rivera, Doz, Cevallos, Herrera, Malaspina, Vancouver, Laguna, Mascaró, Font y Lafora, entre otros. Esto nos permite valorar el amplio cúmulo de información geográfica, cartográfica y astronómica con la que se topó Humboldt a su llegada al virreinato. Ciertamente, la información se hallaba dispersa y él supo reunirla y ordenarla para poder aprovecharla en su obra sobre este vasto reino. Ese material, acopiado a todo lo largo de un siglo gracias a los desvelos de hombres de ciencia

conscientes de serlo o bien de simples aficionados, forma uno de los capítulos más consistentes y continuos de la ciencia ilustrada mexicana. Es por ello que el legado geográfico novohispano, que penetró y permeó gran parte de los estudios de este género a todo lo largo del siglo XIX, conoce su origen en la obra de Humboldt, en particular en su *Atlas geográfico y físico del reino de la Nueva España* (1811), que contiene numerosas cartas muy superiores en casi todos los aspectos a cualquiera de las hasta entonces delineadas. Estos mapas y planos fueron a partir de entonces los únicos admitidos por los geógrafos. Las cartas publicadas después en Europa, sea el mapa general del país, sea el del Valle de México o bien el del camino y terreno entre Veracruz y México, están basadas en el *Atlas* humboldtiano, que resulta un complemento indispensable del *Ensayo político* de este mismo autor. Ambas obras abrieron nuevos caminos al estudio geográfico y estadístico de la América septentrional y de las Antillas.

Como dijimos al principio de esta sección, la cartografía de la América austral es cuantitativamente menor a la de la parte septentrional; sin embargo, es oportuno referirnos a ella en este y en los siguientes apartados. Con base en peticiones expresas de la Casa de Contratación de Sevilla, fueron elaborados en el siglo XVI diversos croquis, planos y mapas de ese inmenso territorio meridional. Fray Juan de Quevedo, primer obispo de Darién, delineó un mapa desde Cartagena hasta Uralía. Cristóbal de Molina, compañero de Almagro en su expedición a Chile, envió un croquis del camino que recorrió el adelantado y que abarca 1 024 leguas, desde Tumbes hasta el Maule. En el siglo XVII los hermanos Pedro y Juan Teipeira elaboraron diversos mapas; entre otros, el del estrecho de Magallanes (1621) y el de la región del río de La Plata (1642). La costa septentrional sudamericana la delineó en 1647 Robert Dudley. Por su parte, los jesuitas empezaron a trazar los mapas de las reducciones del Paraguay, en tanto que Martín de Saavedra y Guzmán elaboraba los primeros mapas del Amazonas. El siglo XVIII cuenta con algunos mapas de excelente calidad científica, producto, como en México, de los avances logrados en los métodos cartográficos a que antes hicimos referencia. El padre Samuel Fritz dibujó y pudo ver grabado en 1707 su mapa del Amazonas, en tanto que el cartógrafo criollo Pedro Vicente Maldonado delineaba el reino de Quito. El mapa general de la América meridional fue hecho por Juan de la Cruz Cano y Olmedilla, y consta de ocho grandes planchas. Resumen de la cartografía científica

del siglo XVIII en América fue la célebre obra de Tomás López titulada *Atlas geographico de la América Septentrional y Meridional*, publicado en 1758 y que reunía 38 mapas y planos, incluidos los de ciudades como Lima, Quito, La Habana y Cartagena, entre otras.

3. CARTOGRAFÍA DEL MAR DEL SUR

La cartografía del océano Pacífico de los siglos XVI al XVIII es copiosa. Los numerosos mapas tanto parciales como generales de esa dilatada región del mundo experimentaron también las modificaciones que la evolución de la cartografía científica fue imponiendo a lo largo de esas tres centurias. Además, la configuración de una carta general del océano Pacífico requirió del concurso de una gran cantidad de datos, mapas parciales y relaciones geográficas que permitieran delinear sus litorales asiático y americano, así como sus numerosos archipiélagos. Pocos capítulos de la historia de la cartografía resultan tan complejos como el intento de querer señalar las etapas por las que atravesó el reconocimiento geográfico del océano más extenso del planeta y de sus contornos. El primer paso lo dieron los cartógrafos que intentaron trazar el litoral occidental del Nuevo Mundo. Con base en las técnicas de la cartografía renacentista anterior a Mercator, configuraron las primeras cartas parciales de la costa americana del llamado Mar del Sur, es decir del Pacífico. Estas cartas primitivas fueron confeccionadas siguiendo los lineamientos tradicionales, que, en una fecha tan tardía como lo es el año de 1681, fueron descritos por José Vicente del Olmo como sigue:

Que se haga en paralelogramo de mayor longitud, dividiendo en dos partes iguales así la una como la otra, con dos líneas rectas que se crucen y corten en medio de la Carta y que se dividan las dos líneas extremas de la latitud en 180° cada una, 90 hacia la parte septentrional y 90 hacia el medio día, y las líneas de longitud en 360, empezando de en medio de la tabla, y terminando en la parte oriental en 180° , y que en los mismos 180° se prosiga la graduación, con que quedará dividida en cuanto a su longitud y latitud, y que tirando líneas, que puedan borrarse por ambas divisiones quede toda cuadrículada, y que por sus cuadros se acomoden y delineen los lugares marítimos según la longitud y latitud que tuvieren en los escollos, senos, barras y demás circunstancias necesarias para el uso de estas Cartas.

Gran parte de los mapas de América de los siglos xvi y xvii fueron hechos siguiendo esas pautas. Así, el “Mapa Castiglioni”, dibujado en 1525, muestra parte de la costa sur de México y Centroamérica. Todo lo demás de ese litoral no existe todavía. Sin embargo, 10 años después, en el “Mapa de la Nueva Tierra de Santa Cruz” ya aparece el litoral que va de los 20 a los 26° e incluye el extremo sur de la península de California. En 1541 Domingo del Castillo delineó toda la costa de la Nueva España de los 16 a los 35° e incluyó gran parte de la península de California. Los datos aportados por los mapas elaborados antes de 1540 no aparecen en la edición de la *Geografía* de Ptolomeo impresa en Basilea en 1540, cuyo mapa de América, que sería copiado repetidas veces en los decenios siguientes, adolece de graves deficiencias. Así, la costa occidental de América —ya reconocida desde hacía varios años entre la parte septentrional de Chile y la península californiana— tiene en ese mapa un perfil totalmente imaginario. En cambio, en el notable mapa de ese continente que apareció en la obra de Juan Bautista Ramusio, y que fue elaborado por Jacobo Gastaldi, uno de los más notables cartógrafos del siglo xvi, se delinea con claridad el perfil de América entre California y el estrecho de Magallanes; y aunque todavía no se registran muchos de los accidentes geográficos de ese litoral, ya representa un notable avance respecto del mapa de la edición antes mencionada de Ptolomeo. Sin embargo, una seria limitación empieza a aparecer en los mapas de América desde mediados del siglo xvi: el desconocimiento que se tenía del litoral del Pacífico al norte de la península de California, y que se reflejó en la cartografía hasta bien entrado el siglo xviii.

Entre 1556 y 1572 aparecieron en Roma los 142 mapas grabados por Antonio Lafreri, que forman su célebre *Atlas*. Ahí se encontraban, entre los de América, el realizado hacia 1556 por Paulo de Forlani, que abarcaba desde Nicaragua hasta la Tierra del Fuego, incluidas las Antillas y parte del Golfo de México con la Florida. Es un mapa notable, con muchos detalles hidrográficos y orográficos, así como abundante toponimia de toda la parte sur del continente. Otro mapa de dicho *Atlas*, datado en 1566, representa la parte norte y comprende desde Castilla del Oro hasta las regiones totalmente desconocidas del septentrión de Nueva España. California aparece como península y con alguna toponimia, sobre todo de sus islas adyacentes. El mítico estrecho de Anián, en el extremo norte, separa América de Asia, y el Mar del Sur del Mar Septentrional Incógnito. Toda la línea costera tanto del Pacífico como del Atlántico, al norte de los 33°, es completamente imaginaria.

El viaje de Sebastián Vizcaíno a California en 1602 permitió que, con base en los datos suministrados por el cosmógrafo de la expedición, Gerónimo Martín Palacios, el célebre científico alemán radicado en México, Enrico Martínez, preparara 36 planos, que van desde el puerto de Navidad hasta el cabo Mendocino. Estos planos constituyen “los primeros trabajos de demarcación, realizados con criterios científicos, en el contexto del Pacífico americano”. Otro intento de delineación científica de esa zona fue realizado por los misioneros jesuitas en 1683, en un mapa que comprende de los 24 a los 28° de latitud norte y de los 251 a los 254° de longitud occidental.

Como ya vimos, las expediciones marítimas que a todo lo largo del siglo xviii recorrieron las costas del Pacífico americano arriba de los 33° de latitud aportaron gradualmente los suficientes datos que permitieron delinear con precisión sus contornos, a la vez que eliminaron definitivamente de la cartografía todos los accidentes geográficos imaginarios que se decía existían en esas regiones. En unos cuantos lustros, a partir de la mitad del siglo, se llegó al reconocimiento geográfico de esa parte de América por tanto tiempo desconocida. Y esto se percibe con mayor claridad si comparamos los mapas de la quinta década del siglo xviii con los confeccionados en los decenios siguientes. Así, por ejemplo, en el célebre *Atlas* de Tomás López que mencionamos más arriba, el perfil del litoral del Pacífico norte se dibuja hasta los 34° y el autor evita configurar la línea costera arriba de ese paralelo. En cambio, 11 años después, en un mapa anónimo “corregido” se traza la línea de la costa hasta los 40°; y en 1770 el sabio Miguel Costanzó elabora su justamente célebre “Carta reducida del Océano Asiático o Mar del Sur”, que comprende de los 20 a los 43° de latitud y de los 247 a los 272° de longitud al occidente del meridiano de Tenerife. Este mapa marca un nuevo punto de partida en el reconocimiento cartográfico del Pacífico septentrional americano. Las cartas geográficas posteriores de Bruno de Ezeta (1775) y de Dionisio Alcalá Galiano y Juan Francisco de la Bodega y Quadra (1791-1792) terminarán la tarea de delinear científicamente el amplio perfil de esos litorales.

El epítome de los conocimientos medievales acerca de la costa oriental de Asia aparece en dos mapas incluidos en la edición de Ptolomeo de 1522, publicada en Estrasburgo y que reproduce los de la edición de 1513. En esas dos cartas aparece Cipango, así como la costa de China desde Tartaria hasta la India, rodeada por Java, Ceilán y otras islas. Los perfiles de los litorales de esa parte de Asia revelan el poco conoci-

miento que se tenía de los contornos reales de esa dilatada parte del globo. No fue sino hasta finales del siglo xvi, 70 años después del viaje de Magallanes y medio siglo después de los viajes de Legazpi y Urdañeta, cuando Henricus Hondius publicó un extraordinario mapa, elaborado de acuerdo con la proyección de Mercator, que muestra bien delineados los contornos de la India, Siam, Sumatra, Java, Borneo, las Célebes, las Filipinas, las Molucas, Formosa, el archipiélago de San Lázaro, parte de Nueva Guinea y los extremos meridionales de China y Japón. Este mapa nos permite percibir la profunda transformación sufrida por la cartografía del Pacífico oriental en menos de un siglo, por el efecto combinado de los viajes de exploración de españoles y portugueses con los nuevos métodos cartográficos.

Entre los primeros mapas de Filipinas elaborados por navegantes españoles mencionaremos el de Hernando de los Ríos Coronel, que data de 1597 y que representa en detalle Luzón, Formosa y la costa de China. En las *Décadas* de Antonio de Herrera (Madrid, 1601-1615) aparece un mapa sin proyección que lleva como título “Descripción de las Indias del Poniente”, que de alguna manera resume los descubrimientos españoles del siglo anterior en esa parte del mundo. Este mapa, aunque rico en toponimia, resulta bastante menos preciso que el de Hondius, que es unos años anterior: las costas están mal delineadas, las posiciones relativas son imaginarias y las dimensiones de islas como Japón o Java no tienen ninguna aproximación a la realidad. Lo interesante de este mapa —que elaborado por el cosmógrafo del Consejo de Indias se supone apoyado en datos primarios— es que influyó poderosamente en la cartografía del Pacífico oriental por más de un siglo. Todavía en la edición de 1723 de la *Monarquía indiana* de fray Juan de Torquemada, la carta de América y de las Indias Orientales está copiada de los dos mapas de estas partes del mundo publicados por Herrera hacía más de cien años.

Si las cartas parciales españolas que representaban las costas orientales del Pacífico adolecieron de ciertos defectos hasta el siglo xviii, no sucedió lo mismo con los mapas locales realizados por cartógrafos que delinearon los archipiélagos del sureste asiático, en particular las islas Molucas y las Filipinas. En tres obras históricas jesuitas referentes a la labor misionera de la orden en esas latitudes, aparecieron cinco de los más precisos mapas de las Filipinas. El primero, grabado en 1659 por Marcos de Orozco, fue incluido en la obra de Francisco Colín titulada *Labor evangélica*, editada cuatro años más tarde. Se trata de un gran

mapa desplegable que comprende las principales islas con su toponimia. El segundo mapa —del cual existen dos variantes— fue dibujado por el geógrafo jesuita Pedro Murillo Velarde, el autor de la *Historia de la provincia de Philipinas* en que iba incluido. El grabador fue el tagalo Nicolás de la Cruz Bagay, quien abrió las láminas de ambos mapas en 1744. Uno de ellos lleva indicados los meridianos, y el otro no. Ambos describen con detalle los contornos y la hidrografía de las islas, además de que llevan una rica toponimia. La tercera obra que contiene los dos últimos mapas es el célebre relato de la obra misionera de la Compañía de Jesús en todo el mundo titulado *Cartas edificantes y curiosas*. Uno representa las Filipinas, las Marianas y las Célebes. El otro es uno de los pocos mapas de la época que representa el archipiélago de las Nuevas Filipinas, “descubiertas en tiempo de Felipe V”. De la forma en que fue elaborado se da noticia al principio del tomo tercero de esa obra:

Es de admirar, que estando estas Islas (en número de ochenta y siete) situadas entre las Molucas, las antiguas Philipinas, y las Marianas, y conocidas casi dos siglos, no hayamos tenido hasta ahora conocimiento de las primeras. Forman el más vistoso Archipiélago del Oriente, cercado por el Norte, y Mediodía entre la línea, y el Trópico de Cáncer, y por el Oriente, y Poniente entre las Marianas y las Philipinas.

Y un poco más adelante dice:

El mapa fue formado de un modo tan extraño como había sido el descubrimiento de sus Islas. No es obra de alguno de Europa, porque hasta ahora mismo ninguno se ha visto allá. Los mismos isleños lo trazaron de la manera que aquí diré.

Se pidió a los huéspedes más hábiles que sobre una mesa pusiesen en orden, y como están colocadas sus Islas, unas piedrecitas lo mejor que pudiesen; según el número, extensión, nombre, y distancia de las Islas. Lo hicieron así, y conforme al plan que trazaron, hice grabar el mapa, sin salir por fiador de su exactitud. No dudo que en penetrando los Misioneros las Islas, y tomando conocimientos más seguros, habrá mucho que aumentar en él.

A finales del siglo XVIII la cartografía del Pacífico oriental se enriqueció sustancialmente con los datos aportados por los viajeros ingleses, holandeses, franceses, rusos y españoles. En 1792 Tomás López publicó su *Atlas elemental*, cuyas láminas 16 y 17 representan “Asia” y las

“Indias Orientales y el Archipiélago”. En el primero aparece la línea de toda la costa desde la Rusia septentrional hasta la parte austral de Java. En el segundo se delinea desde la India occidental hasta la Nueva Guinea, es decir, el océano Índico Septentrional y parte de Oceanía.

Sin embargo, el mejor aporte de la cartografía española al conocimiento del Pacífico asiático aparece en la serie de mapas que ilustran la obra geográfico-económico-política de Eduardo Malo de Luque, seudónimo que utilizó el duque de Almodóvar en su traducción enriquecida de la obra de Raynal. Todos los mapas son bastante precisos para su época. Dos representan Asia y Oceanía, otro más es un plano de Manila y otro representa las Filipinas. Pero son quizá los dos grandes mapas que representan las dos costas septentrionales del Pacífico, la asiática y la americana, los que dan idea de los conocimientos alcanzados en el reconocimiento geográfico de esa parte del mundo tantos siglos ignorada. El primero de ellos representa el “Imperio Ruso”, que comprendía Alaska hasta los 55° de latitud norte. Fue grabado en 1788 por Santiago Drouet y marca las longitudes respecto del meridiano de Tenerife. El segundo mapa abarca todo el océano Pacífico septentrional arriba de los 15° de latitud. Abarca de los 145 a los 285° de longitud oriental al este de Tenerife y fue grabado en el mismo año por el mismo grabador. Según se lee en el cartel que lo acompaña, fue sacado del mapa del capitán inglés James Cook publicado en París en 1785, aunque se corrigió en algunos puntos y se cambió el meridiano de referencia de Greenwich a Tenerife. Todo el litoral americano entre el istmo de Tehuantepec y el cabo Helado, en los 71°, está claramente delineado con abundante toponimia. El litoral asiático abarca desde la isla Liqueo en el archipiélago japonés hasta el cabo Norte. Una peculiaridad de este mapa es que marca la “derrota de los españoles desde Filipinas para Acapulco”, y señala los puntos de la Nueva España y California tocados por los navegantes españoles. Estos puertos no aparecen en el mapa original de Cook, como tampoco aparece la ruta de Filipinas.

El mapa de Cook corregido y añadido por Malo de Luque es el punto terminal de la cartografía general del Pacífico elaborada con base en los *mapas parciales* de ambas costas, algunos de los cuales hemos revisado en las páginas anteriores. Sin embargo, *cartas generales* de todo el océano fueron delineadas desde la tercera década del siglo XVI. El mapa cordiforme doble de Mercator, grabado en 1538, representa ya al Pacífico entre América y Java, indicando las posiciones de las Molucas y de las islas de los Ladrones. Dos años más tarde el anónimo mapa gra-

bado en madera, en 12 tiras e impreso en Nuremberg, señala las mismas islas que el anterior pero ya añade las Filipinas. Al parecer este raro mapamundi sirvió como punto de partida del atribuido a Battista Agnese de c. 1542. Según el desconocido autor del mapa de Nuremberg, se basó en el mapa que en 1523 incluyó Johan Schöner en su crónica de los reinos de Castilla y Portugal, al que añadió nuevos datos. Schöner mismo afirmó que utilizó los informes de Vasco de Gama, Colón y Magallanes. El de Agnese reproduce exactamente los archipiélagos del de Nuremberg, pero lo enriquece con una toponimia de la que éste carece, además de que aquél incluye una porción de la costa occidental de América que no existe en el de Nuremberg. Con diversas variantes, las cartas que delinean el Pacífico en la edición veneciana de 1548 de Ptolomeo y en la *Cosmografía* (Milán, 1556) de Gerónimo Girava copian el mapa de Nuremberg. No sucede lo mismo con la edición de Ptolomeo impresa en Venecia en 1561, ya que aquí están más o menos aceptablemente delineados —para esa época— los contornos de la península de Siam, así como Sumatra, Borneo, las Filipinas y las Molucas. La publicación, en 1570 en Amberes, del *Theatrum orbis terrarum* de Abraham Ortelius señaló una nueva época para la cartografía general del océano Pacífico, ya que por primera vez se intentaba una visión global de toda la cuenca con ambos litorales, la serie de archipiélagos conocidos hasta entonces y, cerrando el mar en su parte austral, un inmenso continente: la “Terra Australis nondum cognita”. En la edición de Amberes de 1589, enriquecida, Ortelius incluyó un mapa general del Pacífico, con proyección, que lleva el título “Maris Pacifici (quod vulgo Mar del Sur)”. Abarca de los 160 a los 330° de longitud oriental y de los 60° de latitud austral a los 60° de latitud boreal. Representa toda América y parte del extremo oriental de Asia, así como los archipiélagos australes. Este espléndido mapa representó, además, un notable avance sobre el mapamundi de Mercator de 1587, ya que Ortelius incluyó en detalle las Filipinas y otros grupos insulares españoles que no aparecen en aquél. Estos nuevos datos geográficos los obtuvo Ortelius de fuentes originales españolas. No es exagerado afirmar que las cartas generales del Pacífico fueron hechas, a partir de entonces, del patrón establecido por este geógrafo. Así, el mapa de la obra sobre viajes de Richard Hakluyt publicada en Londres en 1599, que delinean los litorales de América y Asia hasta los 50° de latitud boreal, debe mucho al mapa general del Pacífico y al mapamundi de Ortelius.

4. MAPAS PARTICULARES

Diversas circunstancias concurren, en los años inmediatos a la llegada de los europeos, para que lograra desarrollarse en las colonias españolas una cartografía local o particular, que si bien fue muy rudimentaria en sus inicios, no dejó de irse perfeccionando con el tiempo gracias, sobre todo, a la adopción de técnicas de medición cada vez menos imperfectas. Los orígenes de esta cartografía son bien conocidos pues están directamente relacionados con la propiedad y distribución de la tierra. El virrey Antonio de Mendoza distribuyó poco después de su llegada a México mercedes de parcelas de tierra, denominadas "caballerías", y como es lógico, fue patente su deseo de unificar sus dimensiones a efecto de evitar los problemas que se podían derivar de conceder mercedes de diferentes áreas. A principios de 1537 determinó que una caballería equivaliera a una superficie de 552 por 1104 varas ordinarias, o sea, poco menos de 43 hectáreas. Las *Ordenanzas* emitidas en 1573 definían con relativa claridad las dimensiones de las *peonías* y de las *caballerías*, aunque era evidente que en la práctica existía una profunda ignorancia acerca de las dimensiones que debían tener no sólo estas dos unidades de medir tierras, sino también las que debían tener las estancias o sitios de ganado mayor o de ganado menor. Los numerosos documentos sobre mercedes de tierras del siglo XVI en México reflejan este desconocimiento y lo empírico y arbitrario que era medir tierras, debido sobre todo a la variedad del tipo de medidas empleadas. A pesar de que las disposiciones de virreyes como Gastón de Peralta o Martín Enríquez de Almanza exigían que las mercedes señalasen con claridad los puntos limítrofes del área de tierra concedida y la figura geométrica que deberían poseer, existían considerables diferencias de tamaño de una merced a otra del mismo tipo, las áreas eran aproximadas y las figuras geométricas eran abstracciones matemáticas que casi nunca existieron en la realidad.

Aunque la figura más socorrida era la rectangular, no faltaron mercedes circulares que provocaron agudos problemas por los terrenos intermedios inafectados que formaban varias mercedes circulares vecinas y que todas podían pretender para sí. A todo esto vinieron a sumarse dos problemas interrelacionados que datan del último cuarto del siglo XVI: el de las "composiciones" de tierras realengas y el del gran crecimiento de las propiedades territoriales que impedían cualquier tipo de medición de cierta precisión, sobre todo —y esto era frecuente en un

país donde los accidentes orográficos juegan un papel determinante—, si los terrenos estaban atravesados por pendientes, cañadas o ríos. Un resumen de la anarquía imperante en lo referente a las técnicas de agrimensura y de algunas de sus funestas consecuencias las sintetizó el virrey novohispano Enríquez de Almanza en una carta al rey, fechada el 8 de abril de 1571, la cual entre otros asuntos decía lo siguiente:

En lo que toca a los baldíos, al principio se empezó mal y así se ha ido continuando, y está ya en términos que no sé yo que tenga remedio ninguno porque como el fin de todos ha sido que la tierra se pueble, hase ido repartiendo y dando a cada uno lo que quería y en la parte que lo pedía, y de no haber tenido en esto orden ni otro término la tierra está muy mal repartida, porque no se dio por orden y todo se fue salpicando y escogiendo cada uno lo mejor, o para ganado mayor o menor, o para sembrar trigo o maíz u otras cosas. Yo he tenido cuenta que lo que se fuere dando y repartiendo se vaya continuando las heredades de los unos con los otros, sin que queden pedazos en medio perdidos, y lo peor de todo ha sido que han apretado y recogido demasadamente a los indios sin dejarles ejidos en muchas partes, ni otras cosas de que tienen necesidad los pueblos, y en muchas partes aun no les sobran heredades para sí y sus hijos.

Como es fácil comprender, toda esa irregularidad en las técnicas de agrimensura traía como efecto muchos abusos y usurpaciones, de que dan fiel testimonio los varios miles de litigios que se conservan en los registros históricos de la América española.

Es lógico pensar que en esos primeros decenios, como derivación del proceso de tenencia y distribución de la tierra, se produjo un tipo peculiar de cartografía. El historiador mexicano Manuel Orozco y Berrón ha dejado una breve descripción de su forma y contenido:

Las representaciones gráficas del terreno... adolecían de todos los defectos siguientes; faltábales la base científica, y eran propiamente croquis, en que los lugares conservaban una posición relativa más o menos exacta, pero en que las posiciones absolutas estaban del todo fuera de su asiento verdadero... La hidrografía no estaba bien comprendida, presentando las diversas corrientes una dirección general, sin ocuparse de acertar sus diferentes inflexiones ni los puntos regados en su curso; si cabe, la orografía era aún más defectuosa, supuesto que las cadenas de montañas no estaban estudiadas en sus enlaces y direcciones, y las anotaciones que les correspondían iban colocadas al acaso, más bien buscando el efecto que pudieran dar al dibujo, que expresando el relieve del terreno.

Estos mapas carecían además de orientación y frecuentemente de escalas, y sólo se limitaban a representar superficies reducidas, por lo general las de la merced o las del sujeto del litigio. Los más primitivos sintetizan en forma admirable elementos de tipo europeo e indígena, y más que cartas geográficas locales, son verdaderas pinturas de los pueblos, haciendas o estancias, es decir, son mapas pictográficos. Algunos fueron artísticamente pintados a la acuarela con figuras humanas; otros fijaban con relativa precisión las coordenadas geográficas del lugar. Muchos de ellos no poseen nombre de autor, pero los hay firmados por alcaldes mayores, escribanos reales, peritos, contadores, justicias mayores, agrimensores e incluso, desde el siglo xviii, por cartógrafos reconocidos.

Uno de los principales incentivos para desarrollar técnicas más científicas de medición de tierras, y por tanto una cartografía más precisa, fueron los agudos problemas de agrimensura que a raíz de la formación de las grandes propiedades territoriales se presentaron, como ya dijimos, hacia fines del siglo xvi. Las consideraciones vertidas por Almanza en su carta al rey hacían explícita la necesidad de establecer métodos científicos para evitar o al menos atenuar los graves problemas provenientes de los límites entre propiedades, de los despojos de tierras, etc. La saturación que se presentó en México en ciertas áreas particularmente fértiles o aptas para la cría de ganado y que originaba pleitos entre propietarios fue otro acicate para estimular la búsqueda de soluciones científicas, y este problema fue común en otras partes de la América hispana, como Perú o Nueva Granada.

No es arriesgado afirmar que a la solución de este problema se dedicaron los mejores matemáticos, geógrafos y astrónomos hispanoamericanos de los siglos xvii y xviii. Casi no hay hombre de ciencia de estos dos siglos que no haya dedicado parte de sus esfuerzos y de su tiempo a los menesteres de medición de tierras, a cálculos de ingeniería subterránea de minas, a trazar planos de pueblos y ciudades, o a la confección de todo tipo de cartas particulares. Sin embargo, cabe decir que a pesar de los meritorios esfuerzos de este grupo (más numeroso de lo que se ha pensado pero de todas maneras reducido si consideramos las necesidades que aquejaban a las colonias) resulta evidente que los males provenientes de la ausencia de peritos perduraron a todo lo largo de esas dos centurias. Así, por ejemplo, en México, antes de mediar el siglo xvii, Guillén de Lampart, célebre por la causa inquisitorial que lo llevó a la hoguera, y quien desempeñó labores como agrimensor en

Michoacán, se percató del hábito que existía de usurpar tierras en exceso de lo mercedado, lo que le llevó a asegurar que los propietarios que tenían derecho a una porción de terreno hacían uso impune de seis. Y todavía a fines del siglo XVIII, el sabio novohispano José Antonio Alzate dedicaba varios escritos a la agrimensura en uno de los cuales se quejaba de la proverbial y secular impericia de los agrimensores que, en lugar de solucionar los problemas, los agravaban.

La primera tentativa de solucionar ese problema consistió en utilizar obras de matemáticos españoles o europeos en general, que dedicaron alguna sección a la agrimensura. Estos tratados lograron cierta difusión a lo largo de la época colonial ya que comprendían temas de aplicación práctica que resultaban muy útiles, dada la penuria de textos impresos de este tipo que aquejó a Hispanoamérica durante los tres siglos coloniales. Sus temas eran variados: técnicas de contabilidad, calendarios eclesiásticos, libros de cuentas (becerros), medidas agrarias, pesos y medidas, técnicas de acuñación, medidas de conversión, tablas de salarios y cálculo de volúmenes de producción. Sin embargo, su utilidad resultaba decididamente limitada, pues no siempre se podían aplicar esas enseñanzas al caso concreto y a los problemas específicos de las colonias americanas. Obras como la de Andrés García de Céspedes, que logró buena aceptación entre peritos agrimensores, arquitectos e ingenieros, se limitaban a explicar las técnicas de medición, de distancias y alturas con instrumentos especiales, algunos de su invención. Otras obras, como la de Antonio Martín o la de Juan Cedillo Díaz, se concretaban a explicar reglas generales de aritmética práctica, o bien ciertos instrumentos de medición tan complicados de manejar como inasequibles. De mayor entidad e influencia en Nueva España fue la obra de Luis Carducho, matemático italiano, editor de Euclides, que residía en España, donde ocupó el cargo de matemático del rey. Su libro de medidas de tierras fue frecuentemente citado por los científicos mexicanos del siglo XVII, quienes además construyeron, teniendo como guía sus descripciones, instrumentos de precisión útiles en la agrimensura y en la minería.

A pesar de que existen pocas evidencias de que en el siglo XVI se hiciese agrimensura precisa, ciertas obras tales como puentes, edificios o iglesias, o el trazo de nuevas ciudades, revelan que no se desconocían los métodos de medición, más bien empíricos, propios de la agrimensura preliminar. Sin embargo, no fue sino hasta algunos años después cuando se intentó sistematizar estos conocimientos. El ingeniero, astrónomo e impresor alemán Enrico Martínez, antes citado, que vivía en

México, dedicó parte de sus esfuerzos a la elaboración de un escrito sobre agricultura y sus técnicas, donde incluía secciones sobre medición de tierras. Lamentablemente esta obra está perdida.

Al sabio matemático novohispano Diego Rodríguez debemos algunas valiosas reflexiones, dispersas en sus obras científicas manuscritas, en torno a las técnicas de medición y al uso de instrumental apropiado. Ahí estudió la forma de calcular las latitudes, los ángulos de posición y las distancias. Discutió acerca de la dudosa utilidad de aplicar el teorema de Pitágoras para el cálculo de la distancia entre dos puntos cuya latitud y longitud eran conocidas, pues demostró que se desconocía la convergencia verdadera de los meridianos, lo que originaba errores a menudo graves. Para solucionar ese problema propuso varios métodos con base en el uso de triángulos esféricos. Indicó, además, el error que existía en el cálculo de las longitudes geográficas y sus consecuencias en la medición de tierras, sobre todo de grandes dimensiones, ya que se les asignaba mayor o menor anchura, se marcaban equivocadamente los cursos de los ríos y las posiciones de las cordilleras, y se colocaban en los mapas dos puntos en un mismo paralelo, cuando en la realidad tenían latitudes diferentes. Propuso varias maneras para calcular la longitud por métodos matemáticos utilizando tablas astronómicas adecuadas, e insistió en que una operación errónea podría deformar los mapas alargando ciertas partes y acortando otras. En suma, apoyado en las técnicas de algebristas de renombre como Tartaglia o Cardano, disertó acerca de los instrumentos de medición de tierras tales como el polímetro, útil para obtener posiciones relativas y el ángulo entre el meridiano y el objeto orientado por medio de un círculo graduado, o como el cuadrante con aguja magnética para determinar los ángulos horizontales de posición. Explicó largamente el uso del astrolabio y de las tablas de tangentes y su aplicación en la práctica de agrimensura, y propuso algunos métodos para mejorar la confección de mapas corográficos o regionales, de los cuales señaló los principales defectos, tales como las distorsiones que hacían que ciertas regiones se ampliaran a costa de otras, el error de incluir figuras muy elevadas, sobre todo las que representaban los accidentes orográficos, y la arbitrariedad que existía al indicar los puntos cardinales. Insistió en la necesaria "observación de campo" para elaborar cualquier mapa y apuntó algunas técnicas de triangulación, en especial en lo referente a las obras del desagüe del Valle de México, utilizando instrumentos de precisión en los levantamientos topográficos.

Algunos contemporáneos del padre Rodríguez también emprendieron la redacción de tratados técnicos y geométricos útiles a los agrimensores. Su colega en observaciones astronómicas, el docto Gabriel López de Bonilla, emparentado con Sigüenza y Góngora, elaboró en 1643 un precioso aunque perdido *Tratado de medidas de tierras y datas de agua*, en el que vertió sus experiencias de campo realizadas como agrimensor en la provincia de Chalco. Este autor influyó en la obra de José Sáenz de Escobar, a quien veremos un poco más adelante, y muy probablemente también en la de Sigüenza y Góngora que lleva el título de *Reducciones de estancias de ganado a caballerías de tierra, hechas según reglas de aritmética y geometría*, que como muchos otros de sus trabajos quedó manuscrito y está actualmente perdido. Sin embargo, una idea de su contenido matemático y geométrico en relación con la agrimensura nos la puede dar un *Informe* que como catedrático de matemáticas rindió Sigüenza el 26 de noviembre de 1675 y que es ilustrativo de las técnicas de “agrimensoría” de esa época.

Fue a fines del siglo XVII cuando un jurista criollo novohispano, devenido matemático y agrónomo, emprendió una de las más valiosas tentativas para acabar con ese mal. La obra de José Sáenz de Escobar, titulada *Geometría práctica y mecánica*, es un intento de proporcionar a los agrimensores e ingenieros “de minas y aguas” los fundamentos teóricos necesarios para su labor. Por sus dimensiones, contenido, carácter e influencia, es uno de los más valiosos documentos de la historia de la ciencia y la tecnología coloniales. Sáenz aprovechó mucha de la información de los tratadistas europeos sobre estos temas, así como los datos obtenidos de su propia experiencia y de sus viajes por el interior del virreinato de la Nueva España. Pese a que la obra permaneció inédita (los manuscritos existentes muestran aprobaciones, licencias y dedicatorias lo que nos hace suponer que iba a ser impresa), fue ampliamente conocida y copiada. El jurista Francisco Javier Gamboa utilizó gran parte de la sección consagrada a las medidas de minas del manuscrito de Sáenz, incluidos sus diagramas sobre la *Geometría subterránea*, en la parte técnica de sus célebres *Comentarios a las ordenanzas de minas* (1761). En cuanto a la sección consagrada a las medidas de tierras, una muestra de su valor lo da el hecho de haber sido publicada sin interrupción en México en los decenios posteriores a la Independencia, con todo y figuras geométricas, aunque sin mencionar el nombre de su autor, en la obra *Ordenanzas de tierras y aguas o sea formulario geométrico-judicial*. Incluye un breve compendio manus-

crita, datado en 1818 y que porta el título de *Ynstrucción sobre el modo de medir tierras*, también es glosa del texto de Sáenz de Escobar.

Las causas que tuvo para escribir este singular tratado las expone al inicio de su obra:

La experiencia de muchos años en la continua tarea de los negocios me ha enseñado ser cosa necesarísima la inteligencia de medidas de tierras, cuyos litigios en esta Real Audiencia de México, de ordinario no se ofrece día de audiencia pública sin dos o tres artículos de tierras, ni semana sin punto definitivo de los mismos.

Y añade:

No es este libro para otro fin, que para que puedan los Corregidores, Alcaldes Mayores, rezeptores y medidores de tierras, tener alguna noticia de la Geometría, y de esta suerte cumplir con la obligación de sus conciencias, en las diligencias que se les encomiendan.

El *Tratado* es tanto un estudio de matemáticas teóricas como aplicadas. Una larga sección introductoria la destina a la geometría elemental de líneas y superficies, ángulos y figuras, elaboración de mapas corográficos, topográficos e "ignográficos" y al uso y manejo del instrumental de medición. A continuación analiza algunos problemas trigonométricos y los métodos geodésicos de triangulación. Una sección la consagra a discutir dos de los más arduos problemas enfrentados por los geómetras y que resultaban muy del gusto de la época: la cuadratura del círculo y la trisección de un ángulo. También estudia las medidas de longitud utilizadas en tierras y sus conversiones. Da a continuación los métodos de medición de minas, los mapas subterráneos que había que levantar y el modo de hacerlos, el uso de aparatos, los métodos para perforar túneles de desagüe, lumbreras, tiros y contraminas, las técnicas de ventilación y el uso de malacates. En la última sección estudió los métodos de conducción de agua, su medición, el tipo de medidas utilizadas y algunos problemas de hidráulica. En un apéndice matemático, al final de toda la obra, estudió en forma teórica complicados problemas trigonométricos y geométricos.

Para el tema específico que aquí nos ocupa, Sáenz expuso las dificultades con las que se enfrentaba un agrimensor en las Indias españolas. Al efecto escribió:

Son los campos en las Indias dilatadísimos y sus formas muy diversas: rara vez se hallará espacio de tierra perfectamente esférico y de la misma suerte no se conocen campos cuyas líneas iguales formen un perfecto pentágono, exágono, heptágono y demás figuras... lo más común es estar las tierras de modo que hacen muchos ángulos y llaman poligonías; y las líneas unas son iguales, otras largas, otras pequeñas; unas rectas, otras curvas, unas circulares en partes, otras tortuosas: fórmanse unas veces ángulos agudos y otras obtusos; de suerte que es preciso ocurrir a la regulación y cómputo aritmético o geométrico por la medida de su área o superficie para ajustar cuántos sitios o caballerías caben en aquel campo polígono de figura imperfecta que llamamos irregular.

Insiste en que para medir estos terrenos irregulares es necesario triangular las áreas o superficies, reduciendo las figuras poligonales que forman las tierras a triángulos fácilmente mensurables. La técnica a seguir es la siguiente:

Necesita el medidor de saber sacar la área o superficie de un campo irregular como comúnmente son los más; que tienen gran variedad de vueltas y ancones, ya cuadrados, ya triángulos, ya circulares, ya tortuosos y otras muchas formas, no es dable ni hay paciencia para medir cada cosa de por sí; y así... se hará alrededor de la tierra la medida hasta volver a la parte donde se comenzó, y en casa, sobre una mesa o pliego de papel, ayudado del pitipié, podrá formar un mapa el medidor, en lo que corresponde a los que rodeó la tierra, cuya distancia al tiempo de medir irá apuntando sin descuidarse en las circunstancias de viento así dónde fue, ángulo que formó, y distancia que midió.

En cuanto al método que él utilizaba para elaborar sus mapas regionales, expresa lo siguiente:

Dícese descripción chorographica la delineación de unas ciudades, que sean muchas como un Reyno o Región; pero cuando se delinea una sola ciudad, un campo, un huerto, un castillo u otra cosa particular, se llama la delineación thopographica y siendo de cuerpo plan horizontal, se dice ignographica (Kirkerio, imp. tom. lib. 4. problem. 24), y así él, ayudado del pitipié, formará en papel o en una mesa su delineación ignographica thopographica de lo que midió en el círculo, o del campo; y situado al medio el mayor cuadro o cuadrángulo paralelogramo que cupiere hará los demás triángulos o figuras que cupieren dentro, y ajustará la área o superficie de cada cosa; será la suma de toda superficie de cada cosa y área de dicho campo.

Además propone el siguiente procedimiento, que, según propia confesión, le dio buenos resultados cuando quiso elaborar un mapa en trabajo de campo o, como Sáenz lo llama, en “vista de ojos”:

Yo he estilado en las pocas veces que he ejercitado estas comisiones, al salir del paraje para hacer la vista de ojos, llevar un reloj o muestra de faltriquera y un agujón manual y que el escribiente llevase un tintero de éstos que pueden ser colgados de la pretina, y dos pliegos de papel. Con esta prevención al salir de la posada más inmediata a la tierra de que se ha de hacer vista de ojos, observo el viento para donde me guíen, y el escribiente desde la mula y sin necesidad de apearse, lo apunta; reconozco por la muestra la hora que es y hago cómputo imaginario de que al paso ordinario de una mula se anda una legua en una hora y respectivamente si al cuarto de hora se llega a la parte donde se halla alguna seña de las de los títulos u otra fija de las conocidas en aquel país, le digo al escribiente (pongo por ejemplo) que asiente que habiendo andado un cuarto de legua desde donde salimos al norte, se llegó a un peñasco o a tal seña, y desde allí según el viento por donde se prosigue caminando a medio viento se continúa apuntándose en el papel y cada cosa separada. De esta suerte a la vuelta, acabada la diligencia, se puede, a la noche, por los mismos apuntes, formar una tosca mapa, y con muy corta diferencia la medida, y cuando se haga, será con grande comprensión, y se podrá disponer, muy ajustado, un mapa auténtico.

Es indudable que éste fue el *modus operandi* de muchos agrimensores y cartógrafos hispanoamericanos que laboraron a lo largo de los siglos XVII y XVIII. Buena parte de los planos corográficos, sean de tierras, minas, canales, ciudades o pueblos, curatos o caminos, fueron confeccionados con base fundamentalmente en dos operaciones prácticas: “vista de ojos” y triangulaciones, lo que no descarta ni mucho menos —como ya vimos en el caso de fray Diego Rodríguez— las observaciones astronómicas. Por otra parte, Sáenz presenta detalladas descripciones y finas ilustraciones del instrumental necesario para todas esas operaciones: la mesa o mesa plana, conocida como “holómetro”, que permitía dibujar directamente las líneas de posición sobre un papel; el semicírculo graduado “en su ciento y ochenta grados”; el agujón que señale “los treinta y dos vientos”; la regla dióptrica, el compás, la regla y el pitipié, cuenta aparte de un astrolabio y un cuadrante. Sáenz menciona, además, un “instrumento magnético” inventado por el jesuita Athanasius Kircher, que era un agujón magnético inserto en un círculo graduado dividido en 360 grados que permitía efectuar triangulaciones, aun para aquellos “que ignoran la ciencia de la trigonometría”.

III. CIENCIAS EXACTAS, I

1. LOS ORÍGENES

LOS CIENTÍFICOS DE LA ÉPOCA COLONIAL hispanoamericana consagrados a los estudios de ciencias exactas forman uno de los más selectos y brillantes grupos de sabios que laboraron en esa época. Casi todos ellos fueron a la vez matemáticos y astrónomos, ya que entre los siglos XVI y XVIII ambas profesiones estaban estrechamente vinculadas. En páginas anteriores hemos visto cómo la astronomía del siglo XVI fue la base del progreso de la náutica y permeó todos los estudios sobre esta materia que se produjeron en España y sus colonias en esa época. Esa astronomía fue eminentemente práctica, ya que su objetivo era fijar posiciones geográficas, determinar las longitudes o ser la base de la cartografía científica del Nuevo Mundo. Sin embargo, no limitó sus actividades a estos únicos propósitos utilitarios. La astronomía, pero sobre todo las matemáticas, tuvieron a lo largo de los tres siglos coloniales un interés teórico, que derivó, en el caso de las matemáticas, al estudio y desarrollo de la trigonometría esférica, el álgebra y el cálculo infinitesimal, y en el de la astronomía, al establecimiento de una nueva cosmología, es decir, de un nuevo sistema del mundo.

La base de este profundo movimiento intelectual partió, como siempre sucede, de la observación directa de los fenómenos del mundo físico y de la necesidad de definirlos matemáticamente. Fue por ello que el desarrollo de las ciencias exactas en la Colonia tuvo su inicio en la astronomía de observación realizada con fines puramente teóricos; de ahí que si quisiéramos datar con cierta precisión el momento en que la astronomía colonial toma carta de naturalización en América como una ciencia pura, no dependiente totalmente de los estudios geográficos o náuticos como hasta entonces había sido, esa fecha es el año de 1578. El 15 de septiembre tuvo lugar un eclipse para lo cual el cosmógrafo y cronista mayor de Indias, Juan López de Velasco, había redactado una *Instrucción y advertimientos para la observación de los eclipses de Luna*, que impresa debía ser enviada a todas las colonias de ultramar donde se podría observar el fenómeno. Y lo mismo sucedió con el eclipse del 15 de julio de 1581. Una segunda *Instrucción* se mandó observar

por real cédula enviada a las colonias americanas. En Cuba, el gobernador Gabriel de Luján encomendó la observación del segundo eclipse a Francisco de Caloña, maestro de obras del Castillo de la Fuerza, que entonces se estaba construyendo. En la Nueva España también fue observado en diversos puntos del reino. Al igual que los eclipses de Luna de 1582 y 1584, que fueron calculados de acuerdo con sendas *Instrucciones* para su puntual observación. Los datos recogidos por las autoridades fueron enviados al cosmógrafo, quien los incorporó a su *Geografía* del Nuevo Mundo.

Fue por efecto de los estudios de astronomía de observación realizados en Europa por Cristóbal Clavio y Pedro Chacón, que el papa Gregorio XIII se decidió a corregir el llamado calendario juliano, que reportaba ya un fuerte error cronológico. Por bula del 24 de febrero de 1582, el pontífice ordenaba correr el calendario 11 días, del 4 al 15 de octubre, así como suprimir tres años bisiestos en un lapso de 400 años. Estas medidas impondrían un nuevo calendario, el llamado gregoriano, en todos los países católicos. El rey de España acató la bula y dictó una real pragmática el 14 de marzo de 1583 ordenando que en México, el Caribe y Centroamérica se adelantara el 4 de octubre y pasara a ser 15 de octubre. La misma disposición regía para las colonias de la América meridional, quienes deberían poner en ejecución la real orden un año después, en 1584. Lo importante de este hecho es que permitió que los astrónomos americanos —peruanos, cubanos, mexicanos, argentinos— tuvieran posibilidad de estudiar las voluminosas obras astronómicas y matemáticas de Clavio, y con base en ellas elaborar algunos textos de estas disciplinas.

Sin embargo, el más remoto testimonio histórico que poseemos acerca del estudio de la astronomía teórica en América fue publicado en la Nueva España en 1557 por el ilustre sabio fray Alonso de la Veracruz. Este autor destinó la última parte de su libro llamado *Physica speculatio* a comentar el texto astronómico *De sphaera*, escrito por el 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 principios del geocentrismo aristotélico-tolemaico. Además, incursiona en los elementos básicos de la astronomía de observación, lo que le permitió fijar las coordenadas geográficas de la ciudad de México, aunque, cabe decirlo, con un fuerte error. Mencionemos que en 1578 fue llevado a las prensas, también en México, el texto titulado *De sphaera, liber unus*, debido al célebre matemático y astrónomo italiano

Francisco Maurolyco, el cual exponía, dentro de la más pura ortodoxia astronómica, lo que era ciclo solar, ciclo lunar, áureo número, epacta y el modo de calcular las diversas posiciones lunares. La segunda obra publicada en México que dedica una sección a discutir el problema del sistema del mundo es la ya mencionada *Instrucción náutica para navegar*, de Diego García de Palacio, impresa en 1587. Su autor hizo en ella gala de conocimientos astronómicos avanzados, aunque realizó sus cálculos de conjunciones, ciclo solar, epacta y áureo número de acuerdo con las antiguas y aún prevalecientes tablas y efemérides astronómicas del siglo anterior. Además hizo largas disertaciones sobre la esfera, las mareas y sus efectos en la navegación, y expuso sucintamente los conocimientos meteorológicos necesarios al marino. Por otra parte, García de Palacio hizo en esta obra profesión de fe de geocentrismo al afirmar que el Sol era a la vez “estrella y planeta, de cuya influencia proceden todas las creaciones y corrupciones”. Además, como todo astrónomo, era un buen astrólogo, que creía en la inevitable influencia de lo de “arriba”, o sea los cielos, en lo de “abajo”, o sea la Tierra.

Las interpretaciones sobre el sistema del mundo las cierra, en el siglo XVI, la obra *Historia natural y moral de las Indias* (Sevilla, 1590), del jesuita Joseph de Acosta. Este libro, digno epítome de la ciencia americana de ese siglo, contiene suficientes datos cosmológicos e informes de tipo astronómico que resultan lo bastante ilustrativos acerca de las creencias científicas que prevalecían en España y en la América española hacia fines del mencionado siglo. Acosta concibe un cosmos finito, limitado en su parte externa por la esfera de las estrellas fijas y cuyo centro es la Tierra. Los cielos, que 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 10 de la región ultralunar. Más allá de la última estaba el cielo, morada de Dios, los ángeles y los bienaventurados. Aparte de exponer esta cosmología tan añeja como venerable, el jesuita aborda otros temas que son de interés para el asunto que aquí tratamos. Por ejemplo, sus estudios arrojan luz sobre ciertos problemas de geomagnetismo, ya que logró establecer la existencia de cuatro curvas sin declinación, que resultaron posteriormente de gran importancia en los cálculos náuticos, así como en los estudios clásicos de William Gilbert sobre el magnetismo terrestre.

La arcaica concepción del mundo que se desprende de las páginas de la obra de Acosta era compartida por casi todos los hombres de

ciencia, no sólo americanos sino incluso europeos. En el caso específico de la Nueva España, la hipótesis astronómica de Copérnico, que desalojó a la Tierra de su trono central, penetró lentamente en la mente de los astrónomos mexicanos, quienes, a partir de la condena inquisitorial del sistema heliocentrista en 1616, podían incurrir en las herejías condenables por el Santo Oficio al manifestar abiertamente opiniones astronómicas que estaban en flagrante oposición no sólo con Aristóteles y Santo Tomás, sino también con la Biblia. La lucha iba a ser encarnizada y el enorme edificio de la ciencia peripatética se derrumbaría para siempre. Lo que Galeno fue para la medicina tradicional de los siglos XVI y XVII, Aristóteles lo fue para la física y la astronomía. La modernidad científica era el arte de impugnar ambas venerables autoridades. Por ello es que cuando a fines del siglo XVI aparece la teoría de Tycho Brahe, a medio camino entre la hipótesis geocentrista de Ptolomeo y la heliocentrista de Copérnico, algunos astrónomos debieron respirar aliviados, pues su ortodoxia religiosa no era ya vulnerada por sus creencias astronómicas. Sin embargo, a principios del siglo XVII y durante gran parte de los dos siglos que corren desde entonces hasta el fin de los tiempos coloniales, la vieja tradición aristotélico-tolemaica tuvo sus representantes, apegados en mayor o menor medida a ese credo, sea en forma pura o bien contaminada de influencias herméticas. En la obra científico-tecnológica de fray Andrés de San Miguel o en los manuscritos que nos han llegado del sabio cronista agustino fray Diego Basalenque encontramos dos ejemplos relevantes de esta postura astronómica. En varias obras, que también permanecen manuscritas, debidas a autores escolásticos mexicanos del siglo XVII, encontramos los temas clásicos de la ortodoxia científica. Tal es el caso de Ildefonso Guerrero, jesuita, quien en 1621 escribió sus *Comentarii in octo libros Aristoteles de physico auditu seu de physica auscultatione*; o el de Diego Marín de Alcázar, también jesuita, quien en 1608 redactó unas *Disputationes in octo physicorum libros Aristotelis stagiritae*. Ambos son sólo dos ejemplos, entre muchos otros, de esa actitud, la cual tuvo un destacado representante en el antes mencionado Enrico Martínez, quien reunía en su versátil persona las funciones de ingeniero, impresor, astrónomo, escritor, matemático, astrólogo, naturalista y psicólogo. Como vimos, este autor era de origen alemán y estaba avecindado en la capital de la Nueva España a principios del siglo XVII. Observador incansable y tenaz de los fenómenos celestes, ostentó el cargo de cosmógrafo real. Fue además maestro de matemáticas y astronomía, materias

que impartía siguiendo los textos clásicos de Sacrobosco, Purbach y Euclides. Asimismo, realizó labores de impresor, tanto de sus propias obras como de otros autores, y el catálogo de los libros que salieron de sus prensas es bastante interesante desde el punto de vista bibliográfico. Fue también, no siempre con fortuna, el director de las obras del desagüe del valle de México. Su obra principal es el *Repertorio de los tiempos e historia natural de esta Nueva España* (1606), recopilación enciclopédica de todo lo que era de interés científico para la época. En la primera parte expone el sistema geocéntrico de tipo medieval, aunque aventura algunas hipótesis astronómicamente heterodoxas de raíces herméticas, pero que no afectan la totalidad de su concepción tradicional del mundo. En la segunda y tercera partes trata algunos asuntos de historia natural, tomados principalmente de las obras de Motolinía y de Acosta. Pasa luego, en la cuarta parte, a tratar los graves asuntos de la astrología judiciaria y las influencias astrales en los seres inferiores, y dedica la quinta y sexta partes a cálculos astronómicos y a una pormenorizada cronología histórica de México.

Los estudios astronómicos logran un fuerte impulso a principios del siglo XVII en otras regiones de la América española; aunque, como ya señalamos, estuvieron todavía enmarcados dentro de la cosmología cristiana medieval. Así, en 1616 llegó a Buenos Aires el más antiguo matemático y astrónomo que haya trabajado en esas tierras: el jesuita napolitano Pedro Comental. Realizó sus estudios en el colegio de los jesuitas en Córdoba, y entre 1618 y 1664, año de su muerte, desarrolló su labor en Santa Fe, Buenos Aires y en los pueblos de las reducciones guaraníes. En esos años realizó numerosas observaciones de eclipses y de los satélites de Júpiter. En sus andanzas se le permitía llevar siempre consigo “tres o cuatro libros y juntamente los instrumentos de matemáticas”. Un colega suyo, el padre Luis de la Cruz, también se consagró al estudio de la astronomía, las matemáticas, la perspectiva y la cosmografía, de suerte que logró dibujar un mapa del virreinato del Perú que según sus contemporáneos era rigurosamente científico. Otros miembros de la Compañía de Jesús que laboraron entre el Río de la Plata, el Paraguay y el Perú realizando observaciones astronómicas fueron Mario Falcón, Juan Montijo y Felipe Lemer. De otros de ellos, como Bernardo Meza, Diego de Torres o Juan Francisco de Ávila, poseemos incluso diversos mapas y planos del Paraguay y del Río de la Plata, así como un derrotero de la América meridional que data de fines del siglo XVI.

Si de la astronomía de observación y la cosmología pasamos a los estudios matemáticos en este período anterior al proceso de apertura a la ciencia moderna, que veremos más adelante, nos encontramos también con un nutrido grupo de autores. Debemos a un interés rigurosamente práctico relacionado directamente con la minería la publicación del primer libro científico impreso en el continente americano. El título de la obra es *Sumario compendioso de las quantas de plata y oro que en los reinos del Pirú son necessarias a los mercaderes y todo género de tratantes. Con algunas reglas tocantes al arithmética*. Fue impreso en la Nueva España en 1556, siendo su autor el “aritmético” Juan Díez, vecino de México. La obra consta de 124 páginas de tablas, reducciones y una breve sección de “questiones o problemas de arithmética”, 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 esta 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. Como veremos más adelante, estos manuales, útiles en operaciones mercantiles, fueron de uso común durante toda 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.

Otra destacada figura, pero ahora de las matemáticas teóricas del último tercio del siglo xvi, fue Juan de Porres Osorio, abogado mexicano con suma afición a las ciencias exactas. Escribió una obra, de título *Nuevas proposiciones geométricas*, que influyó en el célebre *Tratado de matemáticas* de Juan Pérez de Moya. Porres ideó nuevos métodos para dividir la circunferencia así como para la construcción aproximada del polígono de 36 lados (con un error de 0.001), que fueron aprovechados por Pérez de Moya. Asimismo, elaboró una tabla de latitudes y longitudes que fue utilizada por Bartolomé de la Hera en su *Repertorio del mundo particular, de las spheras del cielo y orbis elementales* (1584), obra en la que se estudiaba, entre muchos otros asuntos, los “auges de los planetas” según las teorías de Ptolomeo y de Copérnico.

Desde el tercer decenio del siglo xvii, una corriente renovadora de los estudios matemáticos y astronómicos se hace sentir en la Nueva España, primero tímidamente y, a medida que corre el siglo, con un im-

petu creciente. Los textos matemáticos tradicionales, hechos muchas veces con fines prácticos, tales como el *Arte menor de aritmética* (1623), de Pedro de Paz, primer libro destinado exclusivamente a la aritmética que se publicó en América, o bien el *Arte menor de aritmética y modo de formar campos* (1649), de Atanasio Reaton, difícilmente ponen de manifiesto el estado de las matemáticas en México en el segundo tercio del siglo xvii. En esa época florece en Puebla el criollo Alejandro Fabián, matemático y físico de relieve, corresponsal de varios científicos europeos, entre los que se encuentra el sabio jesuita Athanasius Kircher, con quien intercambié ideas acerca del magnetismo expuestas en su *Magneticum naturae regnum* (Roma, 1667), obra que Kircher se sintió obligado a dedicar a su corresponsal mexicano, quien dejó manuscrita una voluminosa obra de física y cosmología que se ha perdido.

2. LA APERTURA A LA CIENCIA MODERNA

Los orígenes de la ciencia moderna en la América española no son fáciles de situar cronológicamente, ya que no en todas las regiones se dio al mismo tiempo ni con la misma profundidad. Fueron los dos grandes virreinos americanos, Perú y Nueva España, los que por su intensa vida cultural recibieron por primera vez las corrientes que en Europa ya habían iniciado lo que conocemos como Revolución Científica. En la Nueva España, la corriente de apertura a la ciencia moderna que aparece desde los años treinta del siglo xvii, y que no se detendría durante todo el resto del periodo colonial, se debe en buena medida a una de las más prominentes figuras de la ciencia mexicana; nos referimos al ya mencionado mercedario fray Diego Rodríguez (1596-1668). Gracias a su labor fueron conocidas con cierta profundidad las teorías matemáticas y astronómicas (estas últimas tan revolucionarias como heterodoxas), que habían empezado ya a fermentar fuertemente el pensamiento científico europeo. Con fray Diego Rodríguez, lograron difusión y exposición en la cátedra las teorías de Copérnico, Tycho Brahe, Kepler, Galileo, Gilbert, Lansberg, Magini, Reinhold, Maestlin y Longonmontano, en astronomía y física; y las de Tartaglia, Cardano, Clavio y Neper en matemáticas. El ambiente era propicio desde el punto de vista científico, y la apertura de la cátedra de astrología y matemáticas en la Real y Pontificia Universidad de México en 1637, de la cual este distinguido mercedario fue primer titular, es un indicio del impulso que estas cien-

cias estaban recibiendo en la Nueva España. La obra impresa del padre Rodríguez es mínima y no la más ilustrativa de su obra científica, la cual permanece en su mayor parte manuscrita e inédita. Bástenos mencionar de esta última y más importante sección de su amplia producción, entre sus escritos matemáticos, los siguientes títulos: *Tractatus proemialium mathematices y de geometría*, *Tratado de las equaciones, fábrica y uso de la tabla algebraica discursiva*, *De los logaritmos y aritmética* y un *Tratado del modo de fabricar relojes*; y entre los astronómicos: *Modo de calcular qualquier eclipse de Sol y Luna* y una *Doctrina general repartida por capítulos de los eclipses de Sol y Luna*. Su obra impresa es un opúsculo de ocasión, de fuerte sabor hermético y alegórico, que versa sobre un tema muy concreto. Se titula *Discurso etheorológico del nuevo cometa, visto en aqueste hemisferio mexicano; y generalmente en todo el mundo* (1652). La obra matemática de este sabio está articulada en un todo enciclopédico, donde las filiaciones de dicha ciencia con la astronomía, la gnomónica y la mecánica están clara y detalladamente expuestas. Su mayor aporte radica en el estudio de las ecuaciones de tercero y cuarto grados, donde desarrolla los descubrimientos de los algebristas italianos del siglo anterior; su amplia exposición de los logaritmos y la aplicación de éstos a los cálculos astronómicos y sus estudios de trigonometría esférica y de cronometría. En cuanto a sus ideas sobre el sistema del mundo, no creía en la existencia de cielos cristalinos, al modo tolemaico, que envuelven a una Tierra central. Aventuraba, en cambio, la hipótesis de que los espacios celestes estuviesen llenos de un “purísimo éter”. Impugnó, además, la autoridad de Aristóteles, lo que lo coloca en el otro extremo de muchos de sus contemporáneos. Conocedor y estudioso de los tratados que exponían el sistema copernicano, fray Diego se adhirió a las teorías heliocentristas aunque, por razones obvias, en forma velada, tal como lo harían algunos astrónomos españoles de la segunda mitad de la centuria. Los sucesores del padre Rodríguez en la cátedra, principalmente el eruditísimo don Carlos de Sigüenza y Góngora, le fueron deudores en muchos aspectos pues conocieron sus obras manuscritas, de las que obtuvieron valiosa información.

Sin embargo, el largo proceso del desarrollo científico no conoce de rupturas violentas. Todo se gesta paulatinamente y los restos fósiles de tiempos anteriores a menudo conviven con las nuevas teorías. Así, a pesar del avance que representa la obra de este mercedario, vemos proliferar simultáneamente tratados de astronomía tolemaica de denso con-

tenido hermético (corriente de la cual ni el padre Rodríguez pudo escapar, como bien lo atestigua su *Discurso* sobre el cometa de 1652). Las connotaciones astrológicas y alquimistas de dichas obras son evidentes, y en algunos casos, el uso extremo de dichas concepciones acerca del mundo físico no dejó de ejercer una influencia negativa en los incipientes brotes de mecanicismo que ya se dejaban sentir en la obra de fray Diego Rodríguez. Contemporáneos y amigos de éste fueron Juan Ruiz, autor de un opúsculo intitulado *Discurso hecho sobre la significación de dos impresiones meteorológicas que se vieron el año pasado de 1652*; Gabriel López de Bonilla, quien escribiera un *Discurso y relación cometográfica* (1652); y Luis Becerra Tanco, su sucesor, aunque por muy poco tiempo, en la cátedra de matemáticas y famoso autor guadalupano. El contenido de las obras de estos autores es fiel reflejo de esa mentalidad saturada de hermetismo que aún no ha abandonado las concepciones aristotélico-tolemaicas acerca de la conformación del cosmos y que, por tanto, entraban en abierta y manifiesta oposición con las teorías que en forma solapada sostenía fray Diego Rodríguez en sus escritos y en la cátedra.

En el virreinato del Perú la apertura a la ciencia moderna se dio a través de un discípulo del padre Rodríguez, que había seguido en las aulas de la universidad mexicana sus cátedras de matemáticas y astronomía. Su nombre era Francisco Ruiz Lozano, nacido en Lima en 1607 y fallecido en 1677. Después de estudiar en México vuelve a Perú con el virrey conde de Alba de Aliste, a cuyo servicio había entrado cuando vivía en la Nueva España. En su tierra natal recibe el encargo de dictar la cátedra de prima de matemáticas y ya como cosmógrafo del reino se dedica a instruir en matemáticas y náutica a pilotos y navegantes. Como su maestro, escribe un tratado de los cometas, que es el primer libro de esta naturaleza publicado en el Perú. Gracias a la correspondencia que sostuvo con fray Diego Rodríguez, pudo intercambiar con él datos e informes sobre sus observaciones astronómicas, sobre todo de los eclipses de 1638 y 1641, lo que le permitió fijar las coordenadas geográficas de los lugares más importantes de la costa peruana: puntas, puertos y cabos. Un sucesor suyo en el cargo de cosmógrafo mayor fue el doctor Juan Ramón, quien en 1638 dibujó la "Carta geográfica de las provincias del Río de la Plata, Tucumán y Paraguay, con parte de las confinantes de Chile, Perú, Santa Cruz y Brasil", que comprende el vasto territorio situado entre los 17° y los 40° de latitud sur. También peruano fue uno de los polígrafos más notables de ese perio-

do, Pedro de Peralta Barnuevo, nacido en Lima en 1663 y muerto en 1743. Entre sus actividades científicas publicó diversos pronósticos y almanaques calculados al meridiano de Lima. En su *Pronóstico* de 1719 imprimió una descripción y cálculos de un eclipse de sol que tuvo lugar el 15 de agosto de 1719, y fue total en Lima a las 11 horas 49 minutos. Según los cálculos de Peralta, el eclipse debió ser total desde la altura de $17^{\circ}29'$, para la región del Paraguay y para el litoral marítimo y del Río de la Plata, es decir, hasta una latitud de $40^{\circ}13'$. Es interesante señalar que estos datos los recabó Peralta de su corresponsal rioplatense, el jesuita Buenaventura Suárez, de quien nos ocuparemos más adelante, con quien por otra parte compartía las inquietudes científicas derivadas del estudio de los astrónomos modernos.

En este proceso de apertura desempeñó un valioso papel la obra del astrónomo Lázaro de Flores, vecino de La Habana, quien en 1673 publicó en Madrid su *Arte de navegar. Navegación astronómica, teórica y práctica*. En este libro se contienen tablas de declinaciones del Sol computadas al meridiano de La Habana, que fueron calculadas por Flores siguiendo las elaboradas por el astrónomo copernicano Felipe Lansberg, una de las prominentes figuras de la reforma moderna de los estudios astronómicos en Europa. En la primera parte, que es donde expone dichas tablas, Flores cita expresamente a Copérnico, como autor que ha estudiado el movimiento de las estrellas. En la segunda parte da instrucciones para construir y emplear instrumentos de medición astronómica. Asimismo, proporciona valiosos datos de sus observaciones de los eclipses de Luna del 21 de febrero de 1663 y del 6 de agosto de 1664, que le permitieron calcular la longitud geográfica de La Habana respecto de Sevilla. El valor que obtuvo fue $5h8'45''$.

El movimiento de renovación científica iniciado en México por fray Diego Rodríguez hacia 1630, y que como vimos logró extenderse a través de sus discípulos hasta el virreinato del Perú, abrió la Nueva España a los nuevos estudios matemáticos y astronómicos. Él fue uno de los empeñosos propagandistas de los postulados de la Revolución Científica, que se daba principalmente en los campos de la astronomía, con los trabajos de Galileo y Kepler. El sucesor más brillante del padre Rodríguez en la cátedra de matemáticas de la universidad, Carlos de Sigüenza y Góngora, fue en diversos aspectos su discípulo en este movimiento de apertura científica. La obra astronómica de Sigüenza tuvo un doble propósito: realizar cálculos precisos de eventos celestes, sobre todo de eclipses, y desmitificar los cielos, donde, según la opinión

popular generalizada y comúnmente aceptada desde varios siglos atrás, aparecían los signos de calamidades que azotarían a la humanidad. Los cometas y los eclipses eran vistos como signos celestes de malos augurios. Eran presagios fatídicos de hambres, guerras, pestes y sequías. Sigüenza era un científico y sus opiniones chocaron a menudo con esas muestras de la superstición popular, superstición que era también compartida por muchos sabios y aun por hombres de ciencia tanto en Europa como en América. Conviene que nos detengamos en la obra de este distinguido científico mexicano.

Sigüenza y Góngora inició sus observaciones astronómicas en forma sistemática desde 1670. Con base en las *Efemérides* que poseía en su biblioteca, anticipaba sus trabajos de observación con el tiempo suficiente como para obtener determinaciones precisas. Inclusive elaboró unas tablas donde enumeraba los eclipses que tendrían lugar hasta el año de 1711. Poseía diversos instrumentos de medición y observación tales como cuadrantes, relojes y telescopios. Uno de estos últimos se lo compró en 80 pesos —cifra elevada para la época— al padre Marco Antonio Capus, y lo legó a su muerte a los jesuitas. Según la descripción que aparece en su Testamento era “un antejo de larga vista de quatro vidrios que hasta ahora es el mejor que ha venido a esta ciudad”.

Entre los diversos eclipses que le tocó observar, ocupa un lugar especial el que aconteció el jueves 23 de agosto de 1691. Fue un evento espectacular que produjo gran pánico en la población. El cronista Antonio de Robles afirmó que “se vieron las estrellas, cantaron los gallos y quedó como a prima noche oscuro a las nueve del día, porque se eclipsó el Sol totalmente”. Don Carlos aseguró que ese eclipse total había sido anunciado por diversos almanaques, y que era “uno de los mayores que ha visto el mundo”. Escuchemos su propio relato:

A muy poco más de las ocho y tres cuartos de la mañana, nos quedamos, no a buena sino a malas noches, porque ninguna habrá sido en comparación de las tinieblas en que, por el tiempo de casi medio cuarto de hora, nos hallamos más horrorosa. Como no se esperaba tanto como esto, al mismo tiempo que faltó la luz, cayéndose las aves que iban volando, aullando los perros, gritando las mujeres y los muchachos, desamparando las indias sus puestos en que vendían en la plaza fruta, verduras y otras menudencias, por entrarse a toda carrera en la catedral, y tocándose a rogativa al mismo instante, no sólo en ella, sino en las más iglesias de la ciudad, se causó de todo tan repentina confusión y alboroto que causaban grima.

Yo, en este ínterin, 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, que estuve con mi cuadrante y antejo de larga vista contemplando el Sol.

A lo largo de su vida don Carlos elaboró diversos tratados astronómicos tendientes a lograr observaciones precisas. Con ese fin escribió un *Tratado de la esfera* y un *Tratado de los eclipses de sol*. Ambos están perdidos, pero del segundo poseemos la descripción que de él hizo don Sebastián de Guzmán y Córdova, el editor de la obra científica más importante de Sigüenza, la *Libra astronómica y filosófica*, quien nos dice que en esa obra “se computaban los eclipses de sol en el grado nonagésimo desde el ascendente en todos sus términos y los que en los puntos del oriente y del occidente son calculables, sin tener respeto alguno a las paralajes”. De ser éste su contenido, es evidente que el *Tratado de los eclipses de sol* de don Carlos guarda una estrecha relación con la *Doctrina* escrita por el padre Rodríguez y que Sigüenza tuvo en sus manos. Además, como todos los astrónomos de la época colonial, intentó con los datos que obtuvo en sus diversas mediciones calcular la posición geográfica de la ciudad de México, a la cual situó, como ya vimos, en las 6 h48'5" al occidente de París.

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 siempre incluían una sección donde se daba noticia pormenorizada de los eventos celestes que ocurrirían en ese año. Don Carlos no era nada afecto a escribir este tipo de trabajos, pues consideraba que los pronósticos que no estaban científicamente apoyados eran simples invenciones de los astrólogos, y la mayor parte de esos almanaques eran invenciones. Pero, como veremos páginas adelante, existía —y aún existe— un público afecto a esos pronósticos y lunarios, y Sigüenza, siempre acosado por problemas económicos, caía a los ruegos y solicitudes de los libreros-impresores que se los pedían, pues eran productos de venta rápida entre médicos, agricultores y público en general, y don Carlos era un sabio de prestigio y además catedrático de la universidad. Sigüenza elaboró 31 lunarios desde 1671 hasta su muerte. El de 1701 lo dejó preparado y listo para la imprenta. Según su sobrino y albacea Gabriel López de Sigüenza, don Carlos trabajaba mucho en la elaboración de esos lunarios y se preocupaba a veces infructuosamente por no caer en exageraciones

que podrían alarmar al público. Sin embargo, Sigüenza aprovechó ese vehículo para dos fines que eran ajenos a ese tipo de trabajos. El primero fue el de publicar cierto tipo de obras históricas y cronológicas salidas de su pluma que, abreviadas, encabezaron algunos de sus lunarios, como fueron el de 1681 y el de 1684. El segundo propósito —que le originó serias disputas— fue el de utilizar esas obras astrológicas para denunciar la falacia de la astrología. En efecto, don Carlos no sólo puso en la picota a la astrología en su *Libra astronómica*, sino también en sus almanaques, cuya difusión era mayor. En varias ocasiones los censores inquisitoriales le exigieron quitar de sus lunarios las sátiras y críticas contra la astrología, a la que calificaba, en un momento de benevolencia cáustica, solamente de “bagatela”. En 1690 los calificadores denunciaron ese proceder y lo recriminaron duramente acusándolo de ingrato, pues era esa ciencia la que le había dado lo que tenía y la que lo sostenía. Pero don Carlos no cejó y afirmó que con los lunarios perdía mucho más en prestigio que lo que ganaba en dinero. Sin embargo, no hubo año en que no los publicara.

Con los ataques de Sigüenza a la astrología entramos en el episodio más relevante de su vida de científico: la polémica que suscitó la aparición del cometa de 1680. Éste fue un momento capital de la historia de la ciencia mexicana, pues en esa querrela astronómica se confrontaron dos visiones científicas: la tradicional y la moderna, esta última apoyada en la obra de fray Diego Rodríguez y sus discípulos, y de la que Sigüenza fue su más distinguido continuador. En esa bien llamada “justa de los cometas” quedó patente el grado de avance científico alcanzado por la Nueva España, no sólo frente a la metrópoli, sino también frente a otros centros europeos del saber científico.

Todo comenzó el 15 de noviembre de 1680, cuando un cometa de magnitud y luminosidad excepcionales fue visto hacia el oriente. El cronista criollo Antonio de Robles dice que se veía con claridad a las cuatro de la mañana. En Europa los astrónomos habían comenzado a observarlo desde el día 14. Este cometa llegaría a ser el más importante, aunque no el más famoso, en toda 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 para que Pierre Bayle y otros autores se lanzaran a desmitificar los cielos.

Los habitantes de la Nueva España lo contemplaron con estupor, y es que desde tiempo inmemorial los cometas eran considerados como presagios funestos que advertían de calamidades, hambres y guerras.

Eran los heraldos del desastre, los mensajeros de la divinidad airada. De nada habían servido las observaciones de los astrónomos y los razonamientos de los filósofos que se lanzaron contra esos mitos. Ningún argumento era más poderoso que el pánico que causaban. Una de las personas que en México se alarmó con la aparición del astro fue la vi-reina condesa de Paredes. Para tranquilizarla, Sigüenza escribió un breve folleto titulado *Manifiesto filosófico contra los cometas despojados del imperio que tenían sobre los tímidos*. En esta obra don Carlos muestra que los cometas no son nuncios de ninguna calamidad, sino simples astros sujetos a leyes naturales y que describen una órbita de gran excentricidad alrededor del Sol.

Este breve opúsculo del cosmógrafo real fue el origen de la querrela. Contra él se lanzaron tres oponentes. El primero fue el jesuita Eusebio Francisco Kino, recién llegado a México, con un libro editado en 1681 titulado *Exposición astronómica de el cometa*, en el que apuntaba sus observaciones del astro, que había realizado en Cádiz. El segundo opositor fue el astrólogo José de Escobar Salmerón y Castro, con su *Discurso cometológico y relación del nuevo cometa*, también impreso en 1681. El tercero fue el astrónomo flamenco radicado en Campeche llamado Martín de la Torre, con su breve texto titulado *Manifiesto cristiano en favor de los cometas mantenidos en su natural significación*, que al parecer nunca fue impreso y del que se conserva sólo una copia manuscrita.

Estos tres textos reivindicaron el maleficio de los cometas, los declaraban nuncios de desastres por venir y afirmaban su carácter infralunar. Apoyaban sus argumentos tanto en las autoridades científicas más respetadas desde la antigüedad, como en sus propias observaciones astronómicas.

Sigüenza, que no se caracterizaba precisamente por tener un temperamento flemático, reaccionó violentamente y escribió dos tratados donde rebatía los argumentos de aquellos adversarios a los que consideraba dignos de ser refutados, que eran De la Torre y Kino. A Escobar Salmerón no quiso contestarle pues consideró indigno de su pluma responder a un autor que sostenía “la espantosa proposición de haberse formado este cometa de lo exhalable de cuerpos difuntos y del sudor humano”. Contra De la Torre escribió un texto astronómico en el que, según su amigo Guzmán y Córdova, exponía “cuantos primores y sutilezas gasta la trigonometría en la investigación de los paralajes y refracciones y los movimientos de los cometas, o sea, mediante una trayectoria rectilínea en las hipótesis de Copérnico, o por espiras cónicas en los

vórtices cartesianos". En suma, era una refutación matemática de la astrología y del maleficio de los cometas. Este tratado, ahora perdido, lo tituló Sigüenza, en un momento de arrebató clasicista, *Belerofonte matemático contra la quimera astrológica de don Martín de la Torre*.

En contra de Kino escribió una de las obras mayores de toda la ciencia mexicana: la *Libra astronómica y filosófica*. En este libro, impreso hasta 1690, Sigüenza emprendió una refutación sistemática de la astrología y del argumento de autoridad —en particular de Aristóteles— cuando de asuntos científicos se trataba. Don Carlos apoyó sus argumentos en sus propias observaciones del cometa, las cuales realizó entre el 3 y 20 de enero de 1681, exactamente en las mismas fechas en que Newton realizaba las suyas. De la precisión de los cálculos de Sigüenza dieron fe sus correspondientes del siglo xvii y dan fe hoy en día los simples cotejos que pueden hacerse entre la quinta sección de la *Libra* y el libro III, proposición xli, de la *Philosophia Naturalis Principia Mathematica* de Newton. La *Libra* resulta entonces un digno epítome de la renovación científica iniciada en México medio siglo antes.

3. LA ASTRONOMÍA DE 1680 A 1750

La herencia matemática y astronómica del siglo xvii alcanza un punto máximo en la siguiente centuria. La astronomía de observación derivó lógicamente a la crítica de las teorías geocentristas, con lo que terminó de imponer una nueva concepción del cosmos en gran número de los científicos consagrados a la ciencia de los astros. Figura relevante de este proceso fue el jesuita rioplatense Buenaventura Suárez, quien nació en 1679 en Santa Fe y falleció en 1750. Después de estudiar en los colegios de la Compañía de Jesús de Santa Fe y Córdoba se consagró al estudio de la astronomía. Durante su permanencia en la reducción guaraní de San Cosme y San Damián construyó diversos instrumentos matemáticos y astronómicos auxiliado por los indígenas, entre los que se contaban telescopios, relojes de péndulo largo y cuadrantes astronómicos. De la escasez de este instrumental científico, fenómeno común en toda la América hispánica, nos da Suárez un testimonio personal cuando escribe:

No pudiera haber hecho tales observaciones por falta de instrumento (que no se traen de Europa a estas provincias por no florecer en ellas el estudio

de las ciencias matemáticas) a no haber fabricado por mis manos los instrumentos necesarios para dichas observaciones, cuales son reloj de péndulo con los índices de minutos primeros y segundos; cuadrante astronómico para reducir, igualar y ajustar el reloj a la hora verdadera del Sol, dividido cada grado de minuto en minuto; telescopio o antejo de larga vista de sólo dos vidrios convexos de varias graduaciones desde ocho hasta veintitrés pies. De los menores de ocho, y diez pies, usé en las observaciones de los eclipses de Sol y Luna, y de los mayores de trece, catorce, diez y seis, diez y ocho, veinte y veintitrés pies en las inmersiones de los cuatro satélites de Júpiter, que observé por espacio de trece años en el pueblo de San Cosme y llegaron a ciento cuarenta y siete las más exactas.

En la construcción de sus telescopios utilizó cristales de roca “claro y sin manchas”, los cuales pulía logrando “antejos muy claros”. Con estos escasos elementos elaboró Suárez múltiples trabajos astronómicos que hacía imprimir en las imprentas que existían en las reducciones guaraníes. Elaboró y publicó efemérides, calendarios, tablas astronómicas, anuarios y cursos de los planetas. Pero su obra fundamental y más conocida, en la cual vertió gran parte de los datos contenidos en esos trabajos menores, fue su *Lunario de un siglo, que comienza en enero del año de 1740, y acaba en diciembre del año de 1841*, publicado por primera vez, al parecer, en 1744 y reeditado en 1748, 1751, 1759 y finalmente en 1856. En la “Introducción” nos dio noticias interesantes acerca de sus trabajos y del propósito de esa obra:

Después de haber comunicado a los curiosos los lunarios anuales por espacio de treinta y tres años, determiné dar a luz este lunario continuado por espacio de un siglo, guardando el mismo método y forma que en los pasados: calculando todos los movimientos de las conjunciones, oposiciones y cuartos de la Luna con el Sol, y las anomalías de entrambos luminares, con cuyas igualaciones se redujeron los aspectos medios a los verdaderos y aparentes, que son los que se contienen en este lunario. He usado para este fin entre otras tablas astronómicas las de Philipo de la Hire, que se dieron a luz en París el año 1702 y son las mejores de estos tiempos; aunque en la suputación de los eclipses de Sol y de Luna me aparté algo de ellas, arreglándome a las observaciones propias que tengo hechas desde el año de 1706, hasta el de 1739.

Para elaborar sus tablas tomó como punto de referencia la reducción guaraní de San Cosme y San Damián. Además intercambió datos con el padre Nicasio Grammatici, del Colegio Imperial de Madrid, con Nicolás

de l'Isle, que radicaba en San Petersburgo, con el jesuita Ignacio Koe-gler, que estaba en la corte de Pekín, así como con su colega Pedro de Peralta Barnuevo, del Perú, quien hizo observaciones en Lima. De todo este cúmulo dedujo la longitud del meridiano de San Cosme en $321^{\circ}45'$ desde la isla del Hierro en las Canarias, la cual le sirvió para confeccionar una tabla con la diferencia de meridiano y altura del polo de 70 ciudades, entre las que se encontraban Amsterdam, Asunción, Berlín, Cabo de Buena Esperanza, Córdoba de Tucumán, Edimburgo, Gante, La Habana, Pekín, Lima, Londres, México, Olinda de Brasil, París, Roma, Siam, Estocolmo y Varsovia. Por sus dimensiones y contenido, el *Lunario* de Suárez desborda el esquema tradicional de este tipo de obras, de las cuales nos ocuparemos más adelante, ya que de hecho se convirtió en un texto astronómico y de efemérides de gran valor, lo que explica que haya logrado amplia difusión en Europa y haya sido reimpresso varias veces.

Desde 1745 hasta su muerte, Suárez realizó otras mediciones en un nuevo observatorio que construyó para tal fin, y para el cual adquirió en Europa relojes, telescopios, astrolabios, anteojos, relojes de faltriquera y un estuche de instrumentos matemáticos. Del valor y precisión de sus observaciones dio cuenta el astrónomo Wargentín unos decenios más tarde, en sus célebres *Tablas astronómicas*. Ahí, después de enumerar las 800 observaciones hechas por varios matemáticos en diversas partes del mundo sobre la inmersión y emersión de los satélites de Júpiter, cita las observaciones de Suárez realizadas en la reducción de San Cosme, situada sobre el río Uruguay, y dice que las prefiere por su exactitud a las de los astrónomos de París, Londres, Petersburgo y Pekín; y comenta que estas observaciones del jesuita realizadas en el Paraguay fueron hechas “con la sola ayuda de los telescopios, cuadrantes y relojes oscilatorios ideados y fabricados por él mismo en su misión”. Añade después algo que revela que Suárez publicó solamente una parte de sus datos. Dice Wargentín:

Los eclipses del Sol que el padre Suárez observó y anotó en el Paraguay y en la reducción de San Cosme, los cito con muchísimo placer: no solamente porque son hermosos y concuerdan entre sí maravillosamente, sino también porque no se han publicado. A mí me dio una copia de ellos el citado Celsio que los sacó de un manuscrito que se había procurado en sus peregrinaciones.

Contemporáneo de Suárez fue el polígrafo peruano José Eusebio de Llano Zapata. Nacido a finales del siglo XVII en Lima, se trasladó a mediados del siglo siguiente a las regiones del Río de la Plata, radicando por mucho tiempo en Buenos Aires. Llano recorrió incansablemente toda la región comprendida entre Perú y la desembocadura del Río de la Plata. Dedicado por afición a la astronomía, consagró un trabajo al estudio de los cometas al cual tituló *Resolución físico-matemática sobre la formación de los cosméticos cuerpos*. Ahí analizó el origen, la naturaleza, la órbita y el comportamiento de los cometas. En 1748 publicó el *Diario del gran terremoto que se sintió en Lima el 28 de octubre de 1746*, y después de llegar al Río de la Plata publicó una *Respuesta dada al Rey Nuestro Señor D. Fernando el sexto sobre una pregunta que S.M. hizo a un matemático*. A pesar de que Llano Zapata era ante todo un naturalista, como lo ponen de manifiesto sus *Memorias histórico-físicas-apologéticas de la América Meridional*, es evidente por sus obras que era versado en matemáticas y tenía buenos conocimientos en torno a las aplicaciones de las mismas en la industria y en la mecánica.

Uno de los más destacados discípulos de Sigüenza y Góngora y sustituto suyo en la cátedra de matemáticas de la Real y Pontificia Universidad de México, fue el cubano Marco Antonio de Gamboa y Riaño, quien nació en La Habana en 1672 y murió a fines de 1728. En la universidad mexicana se graduó de bachiller en medicina en 1698, y permaneció varios años impartiendo la cátedra de matemáticas en la capital novohispana después de la muerte de su maestro en 1700. Hacia 1714 se encontraba de regreso en Cuba y desde ese año hasta su muerte realizó diversas observaciones astronómicas: cálculos de eclipses, alturas de estrellas, inmersiones de los satélites de Júpiter. Utilizaba un telescopio de dos pies, un péndulo y un cuadrante metálico también de dos pies. Cuando Cassini publicó las *Memorias de la Real Academia de Ciencias de París* del año 1729, incluyó las observaciones astronómicas de Gamboa y Riaño, así como los cálculos con los que fijaba las posiciones de La Habana, Trinidad, Sancti Spiritus y Santa María de Puerto Príncipe. A su muerte la *Gazeta de México* hizo su elogio fúnebre, afirmando que “no sólo era aventajado Médico Galénico y Chímico, sino insigne en las Matemáticas”.

Como en la América meridional o el Caribe, también en Nueva España las observaciones astronómicas fueron numerosas durante la primera mitad del siglo XVIII. Casi todas ellas tenían como finalidad, al

igual que en las dos centurias anteriores, la determinación de las coordenadas geográficas del virreinato, sobre todo de sus puertos y litorales occidentales y de los presidios y pueblos de la desolada e inmensa zona septentrional del país. Un astrónomo poblano, perito en técnicas mineras y profesor de matemáticas, publicó en 1727 un interesante texto acerca del eclipse de Sol que tendría lugar el 22 de marzo. El título del pequeño libro es *Spherographía de la obscuración de la Tierra en el eclipse de Sol de 22 de marzo de 1727. Método de observarle y de corregir los relojes*. En esta obra su autor, Juan Antonio de Mendoza y González, se propuso analizar la trayectoria de la sombra proyectada por la Luna, y para ello elaboró un interesante mapa astronómico, el primero en su género grabado e impreso en América, que representa a California como isla. El propósito del autor era determinar las longitudes de los puntos de México, Perú, Centroamérica y las Antillas, que señala en el mapa y en una tabla de posiciones anexa. En el breve proemio que le puso a su opúsculo dice:

El conocimiento de las situaciones de los lugares terrestres y marítimos es de suma importancia a las repúblicas, porque guía los caminantes, gobierna los náuticos y dirige los comercios. La observación de sus latitudes y elevaciones de Polo es tan clara y común como el Sol del mediodía y tan fija como las estrellas que la muestran; pero la de Longitud es el *Hoc opus, hic labor* de los geógrafos. Nos la pone patente la obscuridad de los lunares eclipses, pero su indagación por la de los solares es más obscura e intrincada que los paralajes o diversidades que la causan.

Después de explicar el mapa y la “proyección de su sombra”, estudia cómo pueden corregirse los relojes haciéndolos coincidir con las observaciones astronómicas. A continuación nos da su método de observación y describe el equipo que utilizó.

Tres cosas se inquieren en los eclipses: la *bora*, la *magnitud* y el *lugar del cielo* en que suceden. Sabidas éstas se viene en conocimiento de la posición de la tierra en que se observan. Las *boras* muestra el *relox* preparado dispuesto como está dicho. La *magnitud* se determina por el *tubo óptico*, *telescopio* o *largo mira*. Ha de ser mayor de vara y a lo menos de *quatro lentes*. De *cinco* es excelentísimo porque manifiesta claros y abultados los objetos. Para las observaciones del cielo se arman los astrónomos con solas dos lentes ocular y objetiva, que por mostrar los astros inversos induce algunos errores. Para ver el inicio y exterminio del eclipse a fin de que no se ofen-

dan los rayos del Sol, se pospone a la vista ante el ocular en competente distancia un vidrio colorido de uniforme tintura y crasidad; y porque es difícil determinar el verdadero principio del eclipse a causa de que los umbragos lunares ofuscan el limbo solar antes del contacto de los luminares, se atenderá a las demás fases para la deducción cierta del medio del eclipse que siempre difiere un tanto de la mayor obscuración.

El interés de este fragmento radica en que Mendoza describe los telescopios que se utilizaban en su época y cómo debía observarse un eclipse de Sol. La última sección de su texto la destina al cálculo de las longitudes geográficas antes mencionadas.

La preocupación de los astrónomos del siglo XVIII por difundir noticias que ayudaran a comprender la naturaleza de los eclipses y las técnicas de observación más adecuadas fue constante. Un acucioso astrónomo, Pedro de Alarcón, publicó en la *Gaceta de México* en octubre de 1728 una nota donde solicitaba a los habitantes de Oaxaca, Guatemala, Veracruz, La Habana, Guadalajara, Zacatecas, Durango, Mazapil y Nuevo México que observaran el eclipse de Luna que se verificaría el 8 de agosto de 1729. Les pedía que le comunicaran los datos sobre la hora del principio y fin del eclipse, ya que con esos datos “inferirá la longitud y latitud de esta ciudad, por reconocer inconstantes los mapas de estas provincias”.

No sólo en la capital de México existía una comunidad de astrónomos. Otras regiones del virreinato también contaban con observadores que procuraban por diversos medios comunicar sus resultados. En Puebla, Campeche, Mérida, Zacatecas, Valladolid, Oaxaca y Veracruz se realizaron periódicamente observaciones. En 1732 el conde de Santiago de la Laguna, José de Rivera Bernáldez, en un libro descriptivo de la ciudad de Zacatecas afirmó haber calculado la longitud geográfica de esa ciudad, la cual situó a las 7 horas 50 minutos desde Bolonia, en Italia, apoyándose en sus observaciones de varios eclipses de Luna. Otro astrónomo fue el poblano Miguel Francisco de Ilarregi, quien en su *Pisicador poblano. Explicación de un eclipse de Sol que se verá el día 12 de marzo de este presente año de 1755* también realizó cálculos tendientes a fijar la longitud de esa ciudad.

Un momento de interés dentro de la historia de la astronomía de observación en México se dio en 1752 con motivo del eclipse de Sol que tuvo lugar el 13 de mayo de ese año y que puso de manifiesto la forma en que las viejas creencias astrológicas se enfrentaban a las teorías de la

ciencia moderna. Los protagonistas de la polémica que se desató fueron dos astrónomos poblanos. El primero de ellos, llamado José Mariano de Medina, publicó un texto de título *Destierro de temores y sustos, vanamente aprehendidos en el eclipse quasi total futuro del año de 1752*, en donde asentaba lo siguiente:

...los que están instruidos en que el eclipse de Sol es una interposición de la Luna entre nuestra vista y el cuerpo solar, y que ésta se hace en términos naturales, a mí me alucina que a ellos los espante, pudiendo dejar estos horrores para las naciones bárbaras.

Y añadía, refiriéndose al hecho de que después de algún eclipse podían ocurrir algunas calamidades:

Estoy cierto de que el estrago que suele experimentarse en semejantes años es hijo, no del influjo maligno de los astros, sí de los sustos y temores con que aflijen a los aprensivos las predicciones fatales de los astrólogos.

Este breve texto fue atacado casi inmediatamente por Narciso Marcorp Hecafof, anagrama de Francisco Pacheco Mora, con un folleto, también en forma de epístola, que llevaba el curioso nombre de *Carta escrita a una señora título sobre el eclipse futuro del día 13 de mayo de este presente año de 1752*. Ahí reivindicaba los derechos del hado a favor de los eclipses considerados como fenómenos infaustos y rebatía con argumentos astrológicos el racionalismo ilustrado de Medina. Sin embargo, las corrientes modernas que tendían a ver a los eclipses y a otros fenómenos celestes como simples sucesos naturales ya hacían sentir su presencia en los mismos años en que esos dos científicos poblanos se enfrentaban. Así, con motivo del eclipse de Sol del 12 de marzo de 1755 antes mencionado, Felipe de Zúñiga y Ontiveros publicó una valiosa obra astronómica titulada *Demostración de los eclipses. De ambos luminares y añadida una nota acerca de la predicción congetural de terremotos*. En este libro su autor se propuso dar una explicación exclusivamente científica de la naturaleza y causas de los eclipses de Sol y Luna, de su periodicidad y de las zonas donde habrían de ser vistos. Un año más tarde otro astrónomo, José Antonio García de la Vega, publicaba un breve texto con motivo del eclipse de Sol del 25 de agosto de 1756, cuyo título es *El Piscator de la Nueva España. Explicación del eclipse de Sol*. En este opúsculo también abordaba el estudio de los eclipses desde una óptica puramente astronómica.

Como ya dejamos dicho al referirnos a la obra astronómica de Buenaventura Suárez en el Río de la Plata y de Pedro de Peralta Barnuevo en el Perú, un interesante capítulo de la historia de la astronomía colonial lo forma la publicación de lunarios, calendarios, efemérides, almanaques y pronósticos, que todos estos nombres tenía el arte de predecir año tras año los fenómenos astronómicos y meteorológicos que acontecían. Eran documentos útiles a los agricultores, médicos, eclesiásticos y público en general y tenían casi siempre un buen mercado. La nómina de astrónomos que desde el siglo xvi se ocuparon de estos folletos anuales es numerosa. Como es lógico, se percibe que a lo largo del tiempo los almanaques fueron adquiriendo un carácter cada vez menos imaginario y más científico, de tal forma que entre los publicados en el siglo xvii y los de finales del xviii existe ya una diferencia cualitativa notable. Algunos de ellos, como los publicados en México por la familia Zúñiga y Ontiveros desde el siglo xviii o los de Mariano Galván Rivera en el xix —el célebre Calendario de Galván—, tuvieron una larga existencia. En todos ellos encontramos las efemérides astronómicas, principalmente de fenómenos predecibles tales como los eclipses y las fases de la Luna, así como tablas con los cálculos cronológicos de las fiestas religiosas móviles, notas históricas y cronológicas y a veces información de tipo geográfico.

El más antiguo almanaque publicado en América de que tenemos noticia fue elaborado por fray Alejo García e impreso en México en 1579 con el título de *Kalendarium perpetuo*. Este texto, que es modelo de los muchos que se publicarían después, trae noticias sobre la epacta, el áureo número, el modo de calcular las diversas posiciones lunares, las fiestas religiosas y las efemérides del año. Otro ejemplo de este tipo de calendarios religiosos lo constituye el *Kalendarium officii divini*, impreso en 1609, debido a Jerónimo Descacena, fraile franciscano de la Provincia del Santo Evangelio de México. Por las advertencias que preceden a la obra sabemos de la existencia de otros calendarios anteriores, de los cuales, salvo el de 1579, no se conoce ninguno.

Durante el siglo xvii no hubo astrónomo o catedrático de astrología que no se consagrara a elaborar calendarios por razones principalmente económicas (recordemos el caso de Sigüenza y Góngora), ya que en la Nueva España como en el Perú, en la Nueva Granada, en Cuba o en Guatemala la profesión de astrónomo o la cátedra universitaria de matemáticas no eran, ni mucho menos, lucrativas. Los autores novohispanos más destacados o prolíficos de estos textos en el siglo xvii fueron

fray Felipe de Castro, Gabriel López de Bonilla, Enrico Martínez, fray Diego Rodríguez, Juan Ruiz, Gaspar Juan Evelino y Carlos de Sigüenza y Góngora, entre muchos otros. Todos los almanaques debían someterse a la aprobación inquisitorial y tener las debidas licencias de impresión. A menudo, los pareceres de los inquisidores resultan testimonios interesantes de la mentalidad crítica y científica que poseían y que los aleja del estereotipo del inquisidor oscurantista. En dichos pareceres o dictámenes se llegó a hacer crítica profunda de los excesos astrológicos de los autores, quienes, conociendo la naturaleza de esos almanaques y el público al que iban destinados, no dudaban en incurrir en exageraciones y aun en hipótesis absurdas cuando después de exponer las efemérides astronómicas, o sea, lo que ellos denominaban “accidentes *necesarios* en el cielo”, entraban a las arenas movedizas, puramente especulativas, de los “accidentes *contingentes* en la Tierra”. Tomemos dos ejemplos de autores mexicanos: uno de Gabriel López de Bonilla y otro de Sigüenza y Góngora.

En su almanaque para 1665 titulado *Diario y discursos morales y políticos según la revolución y eclipses del año de 1665*, López de Bonilla señala, entre otros datos, que se verían dos eclipses, uno de Luna y otro de Sol, el primero el 30 de enero y el segundo el 12 de julio. A continuación indica que el de Luna se vería a las 10 horas 50 minutos de la noche, que tendría “su mitad y mayor oscuración” a las 12 horas 7 minutos y su final a la una con 20 minutos de la madrugada. Proporciona, además, información adicional sobre su posición respecto de diversas estrellas, y acerca de la zona de visibilidad, que comprendería las islas de Barlovento. En cuanto al otro eclipse, escribió:

El segundo eclipse será de Sol, a 12 de julio, eclipsándose poco más de la mitad de su cuerpo solar, en los 20 grados 36 minutos 25 segundos de Cáncer, poco antes de pasar la Luna por la cabeza del Dragón. Su principio en nuestro meridiano sucederá a las 11 horas 36 minutos del día. Su mitad, 24 minutos después de las 12, y su fin a la 1 hora y un cuarto después del medio día. También se verá en las dichas islas de Barlovento y demás partes adyacentes desde las dos horas y media hasta después de las cuatro de la tarde.

Hasta aquí la parte astronómica. Viene luego la de los accidentes “contingentes”, que contrasta como ya dijimos con la anterior. Según López de Bonilla, el eclipse de Luna provocaría “trabajos, miserias, inquietudes y enfermedades de tan malas calidades que se pueden tener

por contagiosas". En cuanto al eclipse de Sol, auguraba que provocaría "muchos infortunios, no solamente de enfermedades agudas y pestilentes, sino de insultos, latrocinios, salteamientos y cuadrillas de gente facinerosa", además de que estando Marte "en la novena casa del eclipse de Sol y en Géminis, significa muchos corsarios y repentinas invasiones de enemigos".

Por su parte, Sigüenza tampoco se separaba de esta línea de trabajo. En su *Almanaque* para 1692 señala que habría dos eclipses de Sol, el 16 de febrero y el 11 de agosto, y dos de Luna, el 2 de febrero y el 27 de julio, y que sólo este último sería visible en México. A continuación dice que empezaría a las 6 horas 51 minutos 6 segundos de la tarde y terminaría a las 10 horas 13 minutos 4 segundos de la noche, siendo su momento de eclipse total las 8 horas 20 minutos 47 segundos. Hasta aquí la astronomía. Viene después el pronóstico del mes de julio:

Sábado 26, Señora Santa Ana, dense purgas vomitivas y sángrense y los baños sean para refrescar. Domingo 27, lleno y eclipse de luna a las 8 horas, 32 minutos de la noche del tiempo ecuado en 5 grados 45 minutos de Acuario: Tiempo dañoso porque correrán nortes algo fríos por las mañanas. Muchos vientos se denotan. Lunes 28 y martes 29 son días a propósito para sangrar de los brazos, para purgar todo humor pecante y para baños de humedecer. Miércoles 30 y jueves 31, prohibidos.

Como ya dijimos, Sigüenza repudiaba este tipo de pronósticos no científicos a los cuales se dedicaba cada año solamente por el alivio económico que le proporcionaban. Sin embargo, la sección puramente astronómica es de interés y nos revela al acucioso hombre de ciencia preocupado por proporcionar datos fidedignos.

A medida que transcurría el siglo xviii, los almanaques fueron perdiendo gradualmente el contenido astrológico e imaginario que poseían y se convirtieron en textos rigurosamente científicos donde las efemérides astronómicas ocupaban la totalidad de la obra. Entre los más destacados autores mexicanos de este género de trabajos destacan Juan Antonio de Mendoza y González, Pedro de Alarcón, José Antonio de Villaseñor y Sánchez, Buenaventura Francisco de Ossorio, Miguel Francisco de Ilarregui, José Mariano de Medina, Felipe de Zúñiga y Ontiveros, Juan Antonio de Revilla y Barrientos, José Antonio García de la Vega, Antonio de León y Gama, Ignacio Vargas y Domingo Laso de la Vega. Los títulos de sus obras hablan por sí mismos: *Urania ameri-*

cana septentrional, Astrolabio americano regulado en el polo mexicano a los meridianos de esta Nueva España, Nueva efemérides anunciada por los temporales de 1724, Efemérides pronosticada a los felices temporales, Pronóstico de lo pasado, advertencia de lo presente y desengaño de lo futuro, Efemérides mexicana, Heliotropio crítico, racional prognóstico computado al meridiano de la Puebla, Astronómica y Harmoniosa Mano, etc. Del valor rigurosamente científico que ya poseían a finales del siglo XVIII y de su contenido dio testimonio Antonio de León y Gama, uno de los más destacados astrónomos novohispanos de la época ilustrada. En un extenso dictamen que escribió sobre el *Calendario* que el astrónomo Ignacio Vargas había elaborado para el año de 1791, hace un balance de su contenido que resulta ilustrativo y del que reproducimos un fragmento:

Esta obra en poco volumen incluye mucho trabajo y estudio, como lo sabe el que tiene perfecta inteligencia de las matemáticas. Ella es útil a la geografía de esta Nueva España, que ha estado hasta estos últimos tiempos tan errada, así en cuanto a su legítima situación, como por la falta de innumerables lugares que se han omitido en las Cartas Geográficas de este Reyno, que corren con título de tales, y que los pueblos que se hallan en ellas se conocen difícilmente, por haberles variado o confundido su natural nomenclatura; y esperándose de la aplicación y cuidado del Autor, el que vaya sucesivamente recogiendo y ministrando otras noticias de lugares, como promete, con sus respectivas Longitudes y Latitudes, se conseguirá el formar un mapa exacto de esta América, y satisfacer los soberanos deseos de Nuestros Católicos Monarcas, que por repetidas cédulas y reales órdenes tanto lo han recomendado.

Es igualmente útil para el gobierno civil y político, porque a más de las correcciones del tiempo que pone en cada aspecto de la Luna, las variaciones y meteoros de nuestra atmósfera (sin dependencia de las predicciones astrológicas, sino deducidas de informaciones propias) son de mucha consideración principalmente a los labradores. Se sabe bien que los efectos de una lunación no son iguales en todas partes, por depender estos más de las circunstancias locales que de los influjos de los planetas; y sería conveniente que en todos los lugares se llevase cada año una prolija Efemeris de todos los temporales observados en él, para que comparados unos años con otros se pudiese con bastante probabilidad hacer juicio de los buenos o malos temperamentos que se debían esperar en sus años correspondientes.

Es también útil a los aficionados a la Astronomía, pues hallando en esta obra los lugares de los planetas (que supongo exactos) el tiempo de sus ortos, ocasos y otros fenómenos que de ellos puede deducir el que tiene per-

fecto conocimiento de esta ciencia, se le facilitarán sus cálculos y podrá dedicarse a las observaciones celestes de que carecería si por sí mismo hubiera de ejecutarlos enteramente, por no poder ocupar el tiempo necesario en ellos el que lo tiene empleado en las atenciones de su principal ejercicio.

Hasta aquí este poco conocido texto de León y Gama, que pone de manifiesto el nivel que alcanzaron los estudios astronómicos en la Nueva España y en general en toda la América hispana donde se cultivaron estas disciplinas durante el siglo XVIII.

IV. CIENCIAS EXACTAS, II

1. LA ASTRONOMÍA DE 1750 A 1821

ENTRAMOS AHORA A UNO DE LOS PERIODOS más brillantes de la historia de la ciencia hispanoamericana. Tanto por la calidad como por la cantidad, la segunda mitad del siglo XVIII alcanzó un alto nivel científico como efecto no sólo del espíritu de la Ilustración que se difundió por las colonias y que estimuló el ánimo de saber, sino también por la natural inclinación de un buen número de científicos criollos alentados por esa expansión del conocimiento que favoreció la Corona española a través de sus reformas educativas y que llevaron a la creación en toda América de instituciones específicamente dedicadas al estudio y difusión de las ciencias, desde el cálculo hasta la medicina, pasando por la astronomía, la botánica, la zoología, la geología y la mineralogía.

Un brillante continuador de la obra de Suárez en el Río de la Plata y el Paraguay fue el también jesuita José Quiroga, quien antes de ingresar a la vida religiosa estudió en la Escuela Naval en España, donde adquirió el gusto por los estudios matemáticos, físicos y astronómicos. Cuando en 1745 la Corona quiso fortificar las costas patagónicas con fines defensivos, envió una fragata con los ingenieros navales y pilotos que debían explorar las costas de esa región. El jefe de la expedición fue Quiroga, quien para lograr buenos resultados pidió se adquirieran en Inglaterra por cuenta del gobierno español una buena cantidad de instrumentos astronómicos y matemáticos: dos relojes de faltriquera, dos telescopios de 8 y 16 pies, un estuche matemático, una lámina de cobre para cuadrante, dos globos y un cuadrante astronómico, entre otros instrumentos menores. Además, solicitó se reunieran diversas obras astronómicas y matemáticas para su uso personal: Newton, La Hire, Tosca, Ozanam y Frezier. En la fragata *San Antonio*, de 150 toneladas, armada con ocho piezas de artillería y comandada por el capitán Joaquín de Olivares, partió la expedición de Buenos Aires el 5 de diciembre de 1745 y volvió a ese puerto el 4 de abril siguiente. Quiroga levantó 19 planos así como tres mapas del puerto de San Julián, del río Gallegos y de

Puerto Deseado. Años después desempeñó un papel relevante en la determinación de los límites entre las posesiones españolas y portuguesas, ya que formó un exacto mapa del río Paraguay que sirvió de base a las negociaciones de los reales demarcadores enviados por la Corona para solucionar el conflicto que se había creado. En esta tarea hubo también otros jesuitas que prestaron sus conocimientos astronómicos para auxiliar a la Corona, tales como Ignacio Chomé, Martín Schmid y Juan Mesner, quienes delinearon los límites de las misiones de los indios chiquitos.

Años más tarde, en 1783, con motivo de las expediciones que debían fijar nuevamente los límites con el Brasil, se efectuaron en Buenos Aires numerosas observaciones astronómicas, incluida la de un eclipse de Luna el 18 de marzo de ese año, que permitió que por primera vez pudiera determinarse la longitud de ese puerto. El grupo de astrónomos estaba encabezado por José Varela, "maestro de matemáticas". Además, contaba en su contingente a científicos de la talla de Diego de Alvear, Félix de Azara, Bernardo Lecocq, José Cabrer, Andrés Oyárvide, Joaquín Gundín y el matemático Pedro Cerviño. En la *Memoria* que redactó acerca de los viajes de exploración de la comisión de límites, Oyárvide describió en detalle ese eclipse del 18 de marzo:

Este día, al salir la Luna, que aun estaba claro, había ya mediado el eclipse, y fuera de esto el edificio, de la catedral nueva ocultaba el horizonte oriental desde la casa de D. Agustín Casimiro de Aguirre, esquina SO de la Plaza Mayor, en que se hacían las observaciones, de forma que no se pudo descubrir la Luna hasta los 12° de lugar; por este motivo no se lograron observar más que las emersiones de algunas manchas, y el fin del eclipse.

Es el mismo autor quien nos dejó noticia del número de instrumentos que requirieron para sus mediciones:

Como en estas partidas de demarcación de límites deben operar juntos y unidos españoles y portugueses, se acordó que por parte de España fueran dos colecciones de instrumentos para las cuatro partidas habilitadas en Buenos Aires, y otras dos por parte de Portugal, de forma que en cada partida de las dos naciones se hallase una colección completa de las once que para esta obra de límites se fabricaron en Londres, las cuales como a corta diferencia se componen de igual número de instrumentos para las observaciones de astronomía, meteorología, longimetría, y asimismo lo son en sus propiedades y dimensiones.

Y añade:

Se compone cada una de las colecciones, así españolas como portuguesas, de doce cajas de instrumentos y libros, en las que vienen acomodados con la mayor prolijidad y firmeza.

A continuación enumera este instrumental: péndulo astronómico de Graham, dos anteojos acromáticos de triple objetivo de 3.5 pies, dos lunetas o anteojos de mano portátiles, un reloj de plata de faltriquera, un cuarto de círculo, un teodolito, un sextante, barómetros, termómetros, dos estuches de matemáticas y otros aparatos y equipos. Desde el 23 de febrero de 1783 se iniciaron las observaciones astronómicas, que finalizaron el 19 de septiembre. Todas ellas tenían como finalidad determinar la longitud y latitud de Buenos Aires. Por 24 observaciones de estrellas y cuatro del Sol, se determinó la latitud austral en $34^{\circ}65'38''5$. Por las inmersiones del primer satélite de Júpiter se obtuvo una longitud de $58^{\circ}27'48''$ al occidente de Greenwich.

La figura de Andrés de Oyárvide destaca con particular relieve dentro del grupo de científicos que trabajaron en el virreinato del Río de la Plata en el último cuarto del siglo XVIII, ya que su labor científica fue muy vasta. Su incorporación a la comisión de límites le permitió desarrollar sus conocimientos en forma notable, aunque sus primeros trabajos datan de 1777, cuando ya radicado en Buenos Aires elaboró un mapa de la colonia de Sacramento. A partir de 1783 se multiplican sus mapas: de la costa sur de Brasil, de la provincia de Río Grande, de la costa norte del Río de la Plata y de la costa “desde Montevideo hasta el arroyo del Chuy”. Su último mapa data de 1804. Además escribió varias memorias y relaciones que ponen de manifiesto su pericia astronómica y matemática. De hecho, él fue quien realizó los trabajos científicos más rigurosos y precisos de la costa atlántica argentina y de la desembocadura del Río de la Plata que se realizaron en el siglo XVIII.

Si del Río de la Plata pasamos al virreinato peruano, encontramos en esa segunda parte del siglo XVIII un programa semejante en cuanto al valor y al número de los científicos consagrados a las ciencias exactas. Desde el año de 1733, en que fue publicado por primera vez por Peralta Barnuevo el almanaque titulado *El conocimiento de los tiempos*, éste apareció anualmente hasta 1798. Peralta lo publicó diez años, hasta 1743; lo sucedió José de Mosquera y Villarreal hasta 1749; luego vino el padre Juan Rer hasta 1756 y lo culminó el matemático Cosme Bueno

hasta 1798. Ese anuario daba valiosos informes meteorológicos y astronómicos, pues se situaba en la línea de los almanaques que estudiamos páginas arriba. Sin embargo, a diferencia de estos últimos, ese almanaque peruano incluía efemérides y observaciones astronómicas que iban más allá de lo que habitualmente contenía una obra semejante. Otra obra parecida que merece ser recordada es la *Guía política, eclesiástica y militar del virreinato del Perú*, redactada y publicada de 1793 a 1797 por el sabio médico peruano José Hipólito Unanue. Este anuario es interesante, entre otras razones, porque proporciona un cuadro detallado y completo del país. Cada volumen comprendía, en unas 250 páginas, todo lo que era necesario conocer acerca de la geografía, la historia, los recursos naturales, el comercio y las instituciones del Perú. Desde el punto de vista científico y estadístico es muy valioso. De naturaleza semejante, aunque con información astronómica más abundante, es el *Almanaque peruano y guía de forasteros*, publicado de 1799 a 1821 por tres eminentes astrónomos peruanos: Gabriel Moreno, José Gregorio Paredes y Francisco Romero. Sin embargo, la publicación periódica donde más datos y observaciones astronómicas y geográficas encontramos es el justamente célebre *Mercurio peruano*, donde colaboraron Unanue, Crespo y Larrañaga en los textos médicos y Francisco Romero en los astronómicos y geográficos. Ese grupo de astrónomos peruanos produjo a finales del siglo numerosas obras de astronomía. Cosme Bueno (1711-1798), un español residente desde joven en el Perú, se graduó en la Universidad de San Marcos como médico, y pronto se convirtió en catedrático de matemáticas, óptica y dióptrica. A pesar de ser médico, se le nombró cosmógrafo mayor del reino. Fue él quien fundó e impulsó la nueva actividad astronómica en el Perú. Su discípulo Gabriel Moreno (1735-1809) lo sucedió en la cátedra de matemáticas, de la que también fue titular Joaquín Gregorio Paredes (1778-1839), matemático, piloto de navío y médico.

Todo el desenvolvimiento peruano y quiteño en las ciencias astronómicas en la segunda mitad del siglo XVIII tiene como antecedente obligado la expedición geodésica hispano-francesa a la audiencia de Quito, que duró de 1735 a 1744, dirigida por La Condamine, misma que ya apuntamos antes. Los dos científicos españoles que figuraban en ella fueron Jorge Juan y Antonio de Ulloa. Al primero de ellos debemos una de las obras centrales de la astronomía de observación realizada en América en el siglo XVIII: las *Observaciones astronómicas y físicas hechas de orden de Su Majestad en los reinos del Perú*, pu-

blicada en Madrid en 1748. En el Prólogo explicaba Jorge Juan el propósito y los logros de la expedición que había sido autorizada por el rey Felipe V:

En consecuencia de sus soberanas órdenes, hemos dispuesto nuestro trabajo con la mayor brevedad que nos ha sido posible; por este motivo y para mayor claridad y buen método le hemos dividido en dos partes. La una (de que se ha encargado don Antonio de Ulloa) contiene la relación del viaje, mapas, descripciones de países y noticias de todo lo que se halla de particular en los reinos del Perú por donde hemos transitado. La otra, que es la que comprende este volumen, ha corrido a mi cargo y encierra todas las observaciones astronómicas y físicas que ejecutamos, ya para el fin principal de nuestro viaje, ya para otros, que se sirvió ordenarnos en su Real Institución S.M.

El principal fin del viaje fue el averiguar el verdadero valor de un grado terrestre sobre el ecuador, para que, cotejado esto con el que resultase tener el grado que habían de medir los astrónomos enviados para esto al norte, se infriese sin duda, de uno y otro, la figura de la Tierra, y demás de su utilidad, se decidiese de una vez, con tan ilustres experiencias esta ruidosa cuestión que ha agitado a todos los matemáticos, y aún a las naciones enteras por casi un siglo.

Pero porque al mismo tiempo nos ordenó S.M. que hiciésemos otras varias observaciones muy importantes para la geografía y navegación, teniendo éstas, como tienen, total dependencia de la medida y figura de la Tierra, y siendo bien que vayan delante para desembarazarnos de ellas y para llegar con las luces necesarias al objeto principal, el método que nos hemos propuesto observar es el siguiente...

Describe a continuación el contenido de la Introducción y de las nueve partes en que se divide la obra y que contiene, entre otras, las observaciones para determinar la máxima oblicuidad de la eclíptica, los instrumentos utilizados, los cálculos de la latitud y de la longitud obtenidos a partir de las observaciones de las inmersiones y emersiones de los satélites de Júpiter y de los eclipses de Luna. El libro séptimo contiene las mediciones del grado de meridiano terrestre contiguo al ecuador, e incluye la siguiente conclusión:

Los grados del meridiano terrestre, no siendo iguales, la Tierra no puede ser perfectamente esférica y hallándose menores al paso que están más próximos al ecuador, ha de ser perfectamente lata, esto es, el diámetro del ecuador mayor que su eje.

En el libro octavo detalla las experiencias que realizó en Quito y Cabo Francés con el péndulo simple para la determinación de la figura de la Tierra. Finalmente, el noveno es un nuevo manual de “práctica de navegación sobre la figura de la Tierra ya determinada”, que viene acompañada de tablas. En esta obra Jorge Juan da pruebas de conocer el cálculo infinitesimal, ya que plantea una fórmula que da la razón de los semiejes del meridiano terrestre en función de las longitudes de arcos de un minuto medidos en diferentes latitudes. Es una fórmula de gran precisión obtenida independientemente de la de Maupertuis. A pesar de la complejidad de muchos de sus cálculos, la obra es clara y los conceptos empleados están bien explicados.

Es difícil detallar en pocas páginas la auténtica eclosión que sobrevino en los estudios astronómicos en el recién creado virreinato de Nueva Granada en la segunda mitad del siglo XVIII. Las dos figuras que protagonizan esa expansión del conocimiento son un peninsular, José Celestino Mutis, y un criollo, Francisco José de Caldas. A ellos debemos añadir la obra astronómica realizada en las “regiones equinocciales” por un viajero de genio: Alejandro de Humboldt.

Sin duda, fue Mutis el principal promotor del desarrollo científico de la Nueva Granada en ese periodo, y no sólo en las ciencias exactas sino, y quizá con mayor énfasis, en las ciencias naturales, sobre todo en la botánica. Graduado en la Universidad de Sevilla, Mutis acompañó a Pedro Mesía de la Cerda a la Nueva Granada cuando fue designado virrey. Ahí inició una obra enciclopédica de información científica acerca de la naturaleza americana. En el Colegio del Rosario introdujo el estudio de las matemáticas modernas y difundió la mecánica newtoniana. Pero, para el tema que aquí tratamos, su mayor aportación fue la construcción del primer observatorio astronómico del Nuevo Mundo, obra que Mutis confió al capuchino Domingo Pétrez, cuyas dotes de arquitecto probaron ser excelentes. El discípulo más aventajado de Mutis, Caldas, nos ha dejado una pormenorizada “Descripción del observatorio astronómico de Santa Fe de Bogotá, situado en el jardín de la Real Expedición Botánica”. En este texto, después de describir el edificio como “una torre octógona, de 13 pies de rey de lado y 56 de altura”, que había iniciado su construcción el 24 de mayo de 1802 y se había terminado el 20 de agosto de 1803, Caldas describe sus características arquitectónicas: bóvedas, pilastras, ático, salas, azotea, etc. También enumera el equipo de que disponía, que era abundante. Concluye su descripción con un entusiasta elogio del observatorio que conviene transcribir:

Si los observatorios de Europa hacen ventajas a este naciente, por la colección de instrumentos y por lo suntuoso del edificio, el de Santafé de Bogotá no cede a ninguno por la situación importante que ocupa sobre el globo. Dueño de ambos hemisferios, todos los días se le presenta el cielo con todas sus riquezas. Colocado en el centro de la zona tórrida, ve dos veces en un año al Sol en su cenit, y los trópicos casi a la misma elevación. Establecido sobre los Andes ecuatoriales a una prodigiosa elevación sobre el océano, tiene poco que temer de la inconstancia de las refracciones, ve brillar a las estrellas con una claridad y sobre un azul subido que de él no tiene idea el astrónomo europeo. De aquí ¡cuántas ventajas para el progreso de la astronomía! Si el célebre Lalande anuncia con entusiasmo la erección del observatorio de Malta por hallarse a 36° de latitud y ser el más meridional de cuantos existen en Europa. ¿Qué habría dicho del de Santafé, a $4^{\circ}30'$ de la línea? Lejos de las nieblas del Norte y de las vicisitudes de las estaciones, puede en todos los meses registrar el cielo. Hasta hoy suspiran los astrónomos por un catálogo completo de las estrellas boreales, y apenas conocen las australes. ¿Qué no se debe esperar de nuestro Observatorio si llega a montar un círculo como el de Piazzini? Con un Herschel a esta latitud, ¡cuántas estrellas nuevas, cuántas dobles, triples! ¡cuántas nebulosas! ¡Cuántas planetarias! ¡Cuántos cometas que se acercan a nuestro planeta por el Sur y vuelven a hundirse por esta parte en el espacio, escapan a las indagaciones de los observadores europeos! La gloria de conquistar las regiones antárticas del cielo le está reservada, así como hoy posee la de ser el primer templo que se ha erigido a Urania en el Nuevo Continente, y la posteridad colocará al sabio y generoso Mutis, como fundador, al lado del Landgrave Guillermo y de Federico II de Dinamarca, y como astrónomo al de Tycho Brahe, de Kepler y de Hevelio.

El impulso ulterior a la astronomía neogranadina provino de Caldas, uno de los más destacados científicos criollos de la América hispana de finales del siglo XVIII y principios del XIX. Nacido en Popayán en 1768, murió fusilado en 1816 por pertenecer al ejército de la rebelión contra España. Su obra científica es muy vasta, pues hizo estudios de astronomía, geodesia, geografía, botánica, meteorología, física, metalurgia, geología y zoología. Fue un auténtico enciclopedista de las ciencias, como el novohispano Alzate, con quien además compartió las dotes de editor ya que publicó el inapreciable periódico científico titulado *Semanario del Nuevo Reino de Granada*.

Para Caldas la astronomía era, sobre cualquier otra ciencia, la más comprometida al servicio del hombre. En sus escritos sobre este tema desea siempre hacer comprender “las relaciones tan grandes como

ocultas que tiene la astronomía con la sociedad y con las necesidades del hombre". En efecto, para este científico la astronomía sirve directamente a la agricultura, a la geografía, a la cartografía y a la navegación. Además tiene una función pedagógica y desmitificadora, ya que elimina los falsos temores de las masas ignorantes ilustrándolas sobre el verdadero carácter de los fenómenos naturales:

A proporción que los pueblos se ilustran, desaparece lo maravilloso, y las apariencias que antes los llenaban de terror y de miedo, vienen a serles familiares y comunes.

En diciembre de 1805 Mutis lo designó director del Observatorio. "En esta época —escribe Caldas— monté los instrumentos y comencé una serie de observaciones astronómicas y meteorológicas que no he interrumpido." De hecho, desde varios años atrás había iniciado la exploración sistemática, empírica e intensiva del Nuevo Reino de Granada, a efecto de dotarla de un *corpus* de información astronómica y geográfica que permitiera elaborar una carta precisa del territorio. El 8 de agosto de 1802 había fijado por métodos astronómicos la latitud de numerosos puntos y había confeccionado la carta de la región de Quito. "Puedo lisonjearme —escribió— de haber quitado algunos lunares, de haber aclarado muchos trazos y de haber contribuido con todas mis fuerzas a la perfección de la carta geográfica del Nuevo Reino de Granada." Su entusiasmo por la astronomía lo vertió en numerosos escritos donde da cuenta de sus observaciones. Su concepción de esta ciencia quedó resumida en sus "Preliminares para el Almanaque de 1811", donde escribió:

Todos preguntan con frecuencia: ¿para qué tantos desvelos, tantos cálculos, tantos instrumentos costosos, tantos edificios consagrados a observar el curso de las estrellas? Éstas, con el Sol y los planetas, ¿no hacen sus revoluciones hoy como las hicieron en la creación? Los días, las estaciones, ¿no se verifican independientes de nuestros cálculos? ¿El Sol no nos vivifica y no nos alumbraba sin que le midamos los pasos o que lo abandonemos, como lo hace el caribe u hotentote? Así se discurre por lo común sobre la astronomía.

Nosotros no emprendemos hacer una apología de la ciencia que profesamos. Queremos sí rebajar la sublimidad de sus principios y de sus miras; queremos que el común entrevea las relaciones tan grandes como ocultas que tiene la astronomía con la sociedad y con las necesidades del hombre.

No echaremos mano de la cronología, celebración de la Pascua, y demás objetos del culto. Un entendimiento ordinario percibe bien que es necesario conocer el número de días, de horas y de minutos que gastan el Sol y la Luna en sus evoluciones para organizar los años y los siglos. Todos saben o han oído hablar de Gregorio XIII y de su célebre corrección. Pero se necesitan otros principios para percibir cómo un eclipse de Sol fija la posición de los lugares sobre el globo, y cómo un satélite de Júpiter, saliendo o entrando en la sombra de este planeta, asegura la navegación y mejora la geografía. Nosotros vamos a explicarlo:

Cuando el Sol está en el meridiano, por ejemplo, de Santafé, ha tiempo que ha pasado por el meridiano de todos los lugares que están al Oriente, y aún le falta para llegar a los de los pueblos que están al Occidente. Es decir, que cuando es mediodía en Santafé, es más de mediodía en San Martín, Casaner, etc., y aún no es mediodía en Popayán, Quito y Panamá. Partiendo de este principio luminoso, es fácil entender que si un habitante de Quito y otro de Santafé arregla cada uno un reloj a su respectivo meridiano, los dos relojes señalarían horas distintas, y la diferencia será el tiempo que gasta el Sol en ir del meridiano de Santafé al de Quito. El reloj en Santafé señalará más horas que el de Quito.

De aquí se infiere que si pudiésemos conocer la diferencia de las horas de estos dos relojes, conoceríamos inmediatamente el número de grados terrestres que median entre el meridiano de Santafé y el de Quito. Conociendo este número de grados, con sus latitudes, conoceríamos su distancia mutua, colocaríamos bien estos lugares en la carta, y deduciríamos todas las consecuencias. ¿Pero cómo conocer las diferencias de esos relojes? La astronomía da los medios.

Por último hemos de referirnos a la Nueva España. La tradición astronómica de la primera mitad del siglo logra, aquí también, un desarrollo notable. Las publicaciones se multiplican, y en las gacetas y diarios que se crean aparecen regularmente noticias y datos astronómicos. Sin embargo, hemos de limitarnos a unos cuantos nombres y episodios. De hecho, los nombres de Alzate, León y Gama y Velázquez de León llenan, ellos solos, todo un capítulo de la ciencia astronómica mexicana. Veamos algunas de sus aportaciones.

El 12 de diciembre de 1769 ocurrió un eclipse de Luna que fue acuciosamente observado por José Antonio Alzate y que dio origen a un pequeño folleto donde se pormenorizaba el fenómeno y cuyo título es *Eclipse de Luna del doce de diciembre de mil setecientos sesenta y nueve años observado en la imperial ciudad de México y dedicado al Rey nuestro señor*. Es un interesante documento para la historia de las

ciencias en México. En la "Dedicatoria" al rey, Alzate mostraba su interés porque fuera estimulado el estudio de la astronomía en la Nueva España amparado bajo el real auspicio. Al final de su opúsculo añadía el siguiente comentario:

Feliz si acierto a dar gusto al público y que este ensayo sirva de estímulo a los hábiles americanos, para que se dediquen a las observaciones de los astros, que son las que van dando luces para conseguir una verdadera astronomía: es cierto que el empleo no es de lo más cómodo, por ser necesario sujetarse a las inclemencias del frío y calor, a pasar las noches sin dormir y en fin a otras que sólo la experiencia las enseña. Pero qué no debemos hacer en servicio de nuestro católico monarca (que Dios guarde) a quien tanto deben las ciencias y artes de la patria.

Con el entusiasmo que caracterizaba todas sus producciones científicas, acaso no igualmente precisas y exactas, Alzate nos dejó reseñado su *modus operandi* en la observación del fenómeno. Desde ocho días antes del evento reguló un péndulo real construido por el inglés Juan Ebsivorth que, según Alzate, era "de fábrica tan excelente que en veinte y cuatro horas, no se adelantaba más de doce segundos"; empleó además un termómetro, un telescopio de refracción y un mapa lunar. La observación no fue del todo satisfactoria ya que nuestro entusiasta astrónomo tuvo problemas con la interferencia de nubes. De la calidad de la observación nos da cuenta Alzate mismo al final de su trabajo:

Ésta es la observación; la que no puedo llamar completa, sabiendo la delicadeza con que la ejecutan los sabios astrónomos de Europa, proveídos de buenos instrumentos; y así en las suyas se ven las declinaciones de los planetas, sus diámetros, su pasaje por el meridiano, determinadas las cantidades, o dígitos de los eclipses con excelentes micrómetros; pero esos instrumentos los poseemos con el deseo; pues acá, ni los traen de venta, ni se pueden fabricar, porque necesitan maestros muy ejercitados, los que después de todo, para uno bueno que construyen, les salen muchos errados.

Y ciertamente la carencia de instrumental adecuado fue un mal crónico que perduró toda la época colonial. Los astrónomos, aun los más destacados, como fray Diego Rodríguez, Sigüenza y Góngora, Buenaventura Suárez o Velázquez de León, hubieron de padecer la ausencia de aparatos precisos, lo que los obligaba a construirselos ellos mismos. La exactitud de sus observaciones y mediciones lograda utili-

zando esos aparatos, que debían adolecer de graves limitaciones, es una prueba más de su indiscutible pericia y agudeza científicas.

Los resultados obtenidos por Alzate en la observación del eclipse de 1769 le permitieron fijar la longitud de México en 6 horas 45 minutos 9 segundos, aunque en los años posteriores, y a partir de nuevos datos que obtuvo, se inclinó a cambiar algunas veces sus resultados; así, por ejemplo, para 1786 había colocado el Valle de México en las 6 horas 42 minutos 0 segundos al occidente de París, que resulta más inexacto que el resultado de 1769.

El estudio de Alzate del eclipse de Luna de 1769 corrió con suerte peculiar, ya que fue llevado a Francia por uno de los miembros de la expedición que ese mismo año de 1769 había venido a México para observar en California el paso de Venus por el disco del Sol. El autor del *Voyage en Californie*, que es la memoria de ese viaje científico, fue el destacado astrónomo Cassini de Thury (1714-1784), miembro de la tercera generación de astrónomos del mismo apellido. Cassini recibió los materiales y datos obtenidos por el desaparecido jefe de expedición Jean Chappe d'Auteroche y elaboró las tablas estadísticas y la interpretación matemática y astronómica del fenómeno; además de que se permitió incluir las observaciones de Alzate del eclipse del 12 de diciembre de ese mismo año. En esa memoria Cassini nos da una serie de interesantes noticias respecto del pequeño opúsculo de Alzate:

M. Chappe no hizo ninguna observación en la ciudad de México; pero don J. de Alzate nos ha enviado por el conducto de M. Pauly varias observaciones de eclipses de los satélites de Júpiter, que él mismo ha realizado en esa ciudad, así como un pequeño impreso que contiene los detalles del eclipse de Luna que ha tenido lugar el 12 de diciembre de 1769.

Y añade un comentario que aumenta el valor del texto de Alzate: "No he podido conseguir ninguna observación en Europa similar a ésta; la he reseñado aquí con un gran detalle a fin de que aquellos que tengan mejor ventura puedan realizar una comparación más exacta".

El *Voyage en Californie* es una bella memoria científica del siglo XVIII. El astrónomo Lalande afirmaba que las observaciones que contenía habían permitido fijar la longitud de varios puntos del planeta; y ciertamente, el paso de Venus por el disco del Sol del 3 de junio, o sea poco más de seis meses antes del eclipse que mencionábamos, favoreció que los astrónomos europeos se percataran del error en la longitud

geográfica que existía respecto de la Nueva España. Cassini mismo era el primero en admirarse de que ese error haya podido perdurar tanto tiempo; así, después de realizar el cálculo de la longitud, decía:

Según las nuevas determinaciones que acabamos de verificar, se ve que la América y la California deben ser acercadas a Europa alrededor de cuatro grados de longitud. Un error tan grande, ¡cuán perjudicial no pudo haber sido a los navegantes! Ha sido seguramente funesto para más de un navío, y los demás no habrían debido su salvación más que a los errores particulares de sus propias estimaciones que habrían compensado aquéllas de los mapas.

Ahora bien, si los cálculos de Cassini apoyados en los de Alzate y en los de Chappe no arrojaban un resultado muy preciso, al menos tuvieron el mérito de llamar la atención en Europa respecto del error que existía en los cálculos hasta entonces efectuados. No deja de ser ligeramente injusta la apreciación de Humboldt respecto de los logros de esa expedición, cuando afirma que no aportó nada al conocimiento de la posición de la ciudad de México, ya que Chappe sólo estuvo cuatro días en la capital y ahí no realizó observaciones astronómicas, y las que Alzate le comunicó “no eran —dice Humboldt— las que convenían para resolver el problema de que se trata”. De hecho y como antes señalábamos, los resultados del eclipse de 1769 le permitieron a Cassini fijar la posición en 6 horas 45 minutos 9 segundos, que tiene una diferencia de 40 minutos 2 segundos con respecto a la obtenida a mediados del siglo XIX.

Acaso ese primer dato de Alzate haya sido el más exacto que logró y lo que irritaría a Humboldt no sería tanto la “imprecisión” de ese primer cálculo, sino la variedad de resultados que Alzate obtenía, lo que ciertamente no era un indicio de que hubiera efectuado sus observaciones con rigor y acuciosidad.

Por estos mismos años, y aun antes de que Alzate realizara sus observaciones, un riguroso astrónomo mexicano, Joaquín Velázquez de León, practicaba mediciones astronómicas todas ellas marcadas con el sello de la precisión. Según propia confesión, desde 1755 había observado algunos eclipses. Al efecto nos proporciona una serie de valiosas noticias:

Desde el año de 1755 comencé a observar algunos eclipses, y hallando siempre enormes diferencias entre el cálculo y la observación, las atribuí al

principio, como debía, a mi poca experiencia en lo uno y en lo otro; pero habiendo puesto el mayor cuidado y esmero así en calcular los eclipses (lo que hacía entonces por las tablas de Mr. Cassini, que han sido de la mayor estimación en Europa y las mejores que habían llegado a México), como en observarlos, sirviéndome para ello de un antejo romano muy bueno de diez varas de distancia de fondo, y de un péndulo de segundos, arreglado por las estrellas fijas; con todas estas diligencias me resultaba, muchas veces consecutivas, el error de veintidós minutos poco más o menos, y no debiendo atribuirlo todo a las tablas, me persuadía a que la mayor parte debía imputarse al meridiano de México mal establecido, porque usaba entonces de la longitud determinada por el mismo Mr. Cassini y demás autores de Europa. En 1759 determiné usar de un meridiano más occidental que el del P. Rodríguez y más oriental que el de D. Carlos de Sigüenza, esto es, de un medio entre los dos, determinando la diferencia en tiempo de México a París, de seis horas y cuarenta y siete minutos, y desde entonces empecé a lograr acordes los cálculos y las observaciones, con aquellas diferencias que pueden y deben tolerarse; y si los argumentos *a posteriori* pudiesen ser demostrativos, hubiera creído desde entonces que había dado en el chiste de la verdadera longitud de México; pero no era prudencia dar por cierto lo que sólo había hallado por conjeturas, capaces sólo de inducir una especie de probabilidad: usé para mí solo de esta pequeña industria, esperando mejores pruebas y hablando entre tanto en este asunto siempre con suma desconfianza.

Sabemos, además, que Velázquez de León observó el eclipse de Luna del 7 de mayo de 1762. De la dificultad de observar y calcular ese tipo de fenómenos celestes nos ha dejado otro testimonio este destacado astrónomo:

...en cuanto a los eclipses de Luna, raras veces acontecen observables aquí y en Europa, y se pasan años sin que lleguen a México los libros donde se halla la correspondencia. Las famosas tablas de Tobías Mayer de que se debe tener una gran desconfianza, no se conocieron aquí hasta el año de 68, y en fin, a todo esto debe añadirse que la atmósfera de esta ciudad es ciertamente de las más turbulentas, y así se imposibilitan, o se malogran en la mayor parte las observaciones.

Como resultado de sus observaciones y cálculos, Velázquez de León colocó en 1762 el Valle de México en 6 horas 47 minutos 2 segundos.

En el año de 1803, Alejandro de Humboldt, que por entonces visitaba México y que nos legó un inapreciable testimonio en su *Ensayo po-*

lítico sobre el reino de la Nueva España, calculó la longitud de la ciudad de México. Sus mediciones arrojaron los resultados de $6^{\text{h}}45'42''$ al occidente de París. Los métodos utilizados por el científico alemán fueron el de observar los eclipses de los satélites de Júpiter, el de las distancias de la Luna al Sol, el del transporte del tiempo desde Acapulco y el de una operación trigonométrica realizada con objeto de calcular la diferencia de los meridianos entre México y Veracruz. Cabe mencionar que, a pesar de la precisión de sus mediciones y de la variedad de métodos empleados, los resultados de Humboldt no alcanzaron la exactitud de los datos establecidos por fray Diego Rodríguez en el siglo XVII, a los que ya aludimos líneas arriba.

En un interesante pasaje de su obra sobre México, Humboldt recordó a dos de los más grandes astrónomos mexicanos del siglo XVIII: Velázquez de León y su colega y amigo Antonio de León y Gama. Ese fragmento dice así:

...antes de que hubiese hecho mis observaciones en México ya se había conocido la verdadera longitud con bastante exactitud por tres astrónomos cuyos trabajos merecen ser sacados del olvido, y de los cuales dos son hijos del mismo México. Los señores Velázquez y Gama habían deducido ya, en el año 1778, de sus observaciones de satélites, la longitud de $101^{\circ}30'$; pero no teniendo observaciones correspondientes, y no calculando sino con arreglo a las antiguas tablas de Wargentin, quedaron dudosas (como lo aseguran ellos mismos) en casi un cuarto de grado. Este curioso resultado se anunció en un folleto impreso en México, poco conocido en Europa.

El folleto al que aquí se refiere Humboldt es uno de los más importantes testimonios astronómicos americanos del siglo XVIII. Fue escrito por León y Gama y es pertinente que lo analicemos con cierto detalle, ya que nos dará el perfil de uno de los grandes científicos mexicanos de quien ya nos hemos ocupado páginas atrás y cuyo valor traspasó incluso las fronteras de su país. En efecto, en una carta del 6 de mayo de 1773, el célebre astrónomo francés Joseph Jérôme de Lalande le decía a León y Gama: "Veo con placer que tiene México en vos un sabio astrónomo. Éste es para mí un precioso descubrimiento, y me será la vuestra una correspondencia que cultivaré con ardor."

La labor de este sabio fue verdaderamente enciclopédica ya que dedicó muchas horas de estudio a la astronomía, a la cronología, a la historia, a la arqueología y a la medicina. Uno de sus primeros biógrafos y

además editor de sus obras, el incansable don Carlos María de Bustamante, nos dice que sus estudios los realizó por sí mismo, "sin la viva voz del maestro". Así abordó, sin más ayuda que su propia iniciativa, el estudio de obras astronómicas y matemáticas tan abstrusas como las de Newton, Lacaille, o del mismo Lalande, entre muchas otras, a las que dedicó no poco tiempo. A este respecto añade el mencionado Bustamante:

No conocía otra diversión ni otro consuelo que el de sus libros, y de tal manera se apasionó de las ciencias abstractas que nada le parecía más bello, especialmente en la astronomía, la cual hizo siempre sus delicias. De ésta dio el primer ensayo de ingenio todavía joven, en los calendarios de dos años que compuso, llenos de observaciones astronómicas, acerca de los movimientos de los planetas y de otros fenómenos de nuestro sistema solar.

Su mérito fue reconocido por los virreyes Manuel Antonio Flores y por el segundo conde de Revillagigedo, así como por el capitán Alejandro Malaspina y por Velázquez de León; pero cabe mencionar que este reconocimiento a sus méritos no se tradujo en una mejora en su situación económica, social o profesional.

Su biblioteca estaba bien abastecida, ya que contenía buen número de las obras más representativas de la literatura científica de entonces. De hecho, es posible ahora pensar que los científicos americanos de los siglos XVII y XVIII pudieron tener acceso y disponer de buen número de las más recientes obras científicas que por entonces se imprimían. La multiplicidad de fuentes que reflejan los trabajos de un Sigüenza, de un Peralta, de un Suárez, de un Quiroga, de un Alzate o del propio León y Gama no evidencian más que la existencia de ricos acervos bibliográficos. Nuestro hombre de ciencia fue autor de varios estudios astronómicos, aparte de algunos calendarios. Hacia 1771 redactó un trabajo sobre el eclipse de Sol del 6 de noviembre de ese año, mismo que envió a Lalande y que originó el elogio del astrónomo francés a que hicimos alusión líneas arriba. En 1784 elaboró unas *Observaciones del cometa* que apareció en nuestro cielo en ese año. Ambos estudios, así como algunos otros almanaques, calendarios o efemérides, han permanecido inéditos. De los escritos astronómicos que logró llevar a las prensas impresoras ocupa un lugar primordial la *Descripción orthográphica universal del eclipse de sol del día 24 de junio de 1778*, el texto citado por Humboldt. Esta obra es un estudio riguroso y preciso

del fenómeno celeste indicado en su título. Su aportación principal estriba, sobre todo, en el cálculo de la longitud de la ciudad de México que, como ya vimos, provocó los desvelos de los astrónomos desde el siglo xvi.

El valor científico de la obra es, pues, indiscutible. Ya desde mediados del siglo xix el astrónomo mexicano Francisco Díaz Covarrubias afirmaba, con razón, que las observaciones de León y Gama aparecidas en esta obra arrojaban resultados acerca de la posición de México superiores a las obtenidas por Humboldt 25 años después.

La *Descripción orthográfica* fue dedicada a Joaquín Velázquez de León, amigo y colaborador de León y Gama, y quien además había costeado el libro. En el "Parecer" debido a otro criollo ilustrado, José Ignacio Bartolache, se hace un interesante elogio del autor y de la obra, a la que considera digna de aprecio "por lo fino, delicado y exquisito de su método calculatorio". Además, también encomia el que se publique una obra de esta naturaleza en América, cosa que, según Bartolache, resulta excepcional y sin precedentes. Quizá olvidó el texto de Alzate sobre el eclipse de Luna de 1769.

El opúsculo de León y Gama está compuesto de dos secciones. La primera es la determinación previa del fenómeno; la segunda es la observación propiamente dicha del eclipse antes calculado. Incluye un mapa del "Tránsito de la sombra y penumbra de la Luna sobre la superficie de la Tierra, en el eclipse del día 24 de junio de 1778".

El texto de la primera parte se inicia ponderando la necesidad de fijar con exactitud las longitudes y latitudes de los puntos de referencia escogidos, a efecto de trazar con precisión la zona de observación del eclipse desde su iniciación hasta su terminación. Menciona varios autores cuyas obras y tablas le fueron de alguna utilidad. Incluye cinco tablas, a saber: "Tabla de las longitudes y latitudes de los lugares de la Tierra donde se ve el eclipse", "Tabla de las mayores phases boreales", "Tabla de las mayores phases australes", "Tabla del medio del eclipse al nacer el Sol", "Tabla del principio y fin del eclipse". Con estas determinaciones numéricas elaboró León y Gama el mencionado mapa, donde es tomado en consideración, para los cálculos, el achatamiento boreal del planeta. Las trayectorias están bien trazadas en las coordenadas calculadas y la descripción resulta bastante detallada desde el punto de vista geográfico.

La segunda parte pormenoriza las observaciones de León y Gama. Hace mención del instrumental utilizado, del lugar de la observación y

de su método de trabajo, así como de las personas que lo acompañaron en la observación: José Lebrón, José Antonio de Mazo, Francisco de Torres Guerrero y Joaquín Velázquez de León, entre otros. Este último hizo la observación con un antejo francés de 10 pies con micrómetro filar. Los resultados obtenidos por León y Gama y por su colega Velázquez de León tuvieron una pequeña variante entre sí, acaso debida a una diferente determinación del final del eclipse, ya que aquél obtuvo 8h 29'19" y éste 8h 29'21". No obstante esto, los resultados alcanzados permitieron corregir los anteriores cálculos de Velázquez sobre la longitud del Valle de México, la cual quedó establecida en los 278°30' desde la isla del Fierro, lo que arroja como resultado final 6h 45'49" al occidente de París.

Ese mismo espectacular eclipse de Sol de 1778 fue observado por el sabio marino y científico español Antonio de Ulloa, en su viaje de Veracruz a Cádiz después de su estancia en la Nueva España. Al dirigir su telescopio hacia el disco de la Luna que ocultaba al Sol percibió un extraño fenómeno, pues en el centro del disco lunar aparecía un punto luminoso. Después de reflexionar discurrió que ese punto no era otra cosa sino "un taladro formado en el cuerpo lunar, por donde la luz del Sol se comunicaba a la Tierra", hecho que pasmó a los físicos por ser algo inesperado desde el punto de vista de la mecánica celeste newtoniana y de la teoría de la Luna. La peregrina interpretación del fenómeno provocó cierto revuelo en Europa, pues Ulloa era un hombre de ciencia conocido y quiso dar a la stampa su hallazgo, el cual apareció en 1774 en Madrid en un breve folleto que lleva el curioso título *El eclipse de sol con el anillo refractario de sus rayos, la luz de este astro vista del través del cuerpo de la luna o antorcha solar en su disco*, que fue traducido al francés al año siguiente. Alzate hizo un extenso comentario acerca de esta peculiar interpretación de Ulloa.

El eclipse de 1778 marca uno de los puntos máximos dentro de las observaciones astronómicas del periodo colonial. Sin embargo, desde ese año y hasta la Independencia de la Nueva España se acumularon muchas observaciones tendientes, sobre todo, a configurar cartas geográficas del país y a delinear correctamente sus litorales. Cuando Humboldt elaboró, a principios del siglo XIX, su célebre *Carta general de la Nueva España*, que abarca de los 15° a los 41° de latitud norte y de los 96° a los 117° de longitud al occidente de París, declaró algo que anteriormente subrayamos: que de las 142 posiciones que ahí estableció, 106 habían sido realizadas por científicos mexicanos o españoles. Esto nos

permite valorar el amplio cúmulo de información astronómica, geográfica y cartográfica que existía en México cuando ese científico alemán llegó al país y que él supo reunir y ordenar en su vasta obra sobre la Nueva España.

Registremos, por último, la observación del eclipse parcial de Sol que el 22 de marzo de 1792 realizó en la ciudad de México un científico español que aquí radicaba: Fermín de Reygadas. Este personaje, que se declaró anticopernicano convencido y publicó años más tarde un libro para impugnar la tesis heliocentrista (tesis que como veremos fue defendida por Lucas Alamán, quien refutó con elocuencia la anacrónica teoría de Reygadas), era no obstante un buen astrónomo práctico. En su observación del eclipse advirtió la situación que guardaban las manchas solares y determinó que la hora de máxima oscuración había sido a las 11 h 10' y 5".

2. EL DEBATE SOBRE EL SISTEMA DEL MUNDO

Los avances en la astronomía de observación en Hispanoamérica en el siglo XVIII condujeron a una aceptación generalizada de la cosmología moderna iniciada con la obra de Copérnico. Lo que apenas un siglo antes había sido el credo oculto de un reducido número de sabios, el nuevo sistema del mundo apoyado por las teorías newtonianas, a partir de 1750 logra el consenso de la mayoría de los astrónomos y matemáticos. De hecho, todos los cálculos y mediciones de eclipses, conjunciones, longitudes y latitudes, efemérides, etc., fueron realizados desde los primeros años del siglo XVII siguiendo las tablas copernicanas y tychnicas, por la mayor facilidad que existía en su manejo respecto de las alfonsinas. A pesar de ello, la ortodoxia filosófica y religiosa, representada por la escolástica, continuaba apegada a las teorías aristotélicas y afirmaba por medio de publicaciones de diversa índole —filosóficas, científicas, religiosas, jurídicas y aun históricas— su credo geocentrista del más puro corte medieval. Esto explica, por ejemplo, que la obra *Observaciones astronómicas* realizadas en el Perú, de Jorge Juan, publicada en 1748, apenas salida de la imprenta haya tenido que enfrentarse con el inquisidor general de España, quien, apoyado en un grupo de calificadores de rigurosa ortodoxia, estuvo a punto de suprimir el libro, porque afirmaba que el autor sostenía en el Prólogo el movimiento de la Tierra conforme al sistema de Copérnico. La intervención de un jesuita,

el ilustrado sacerdote Andrés Marcos Burriel, impidió esa tentativa inquisitorial, al publicar un escrito donde demostraba que Jorge Juan no hablaba del movimiento de la Tierra más que como una mera hipótesis. Esto permitió que el libro pudiera difundirse y circular normalmente.

En la América ibérica la apertura a la cosmología moderna —Kepler, Descartes, Newton— se dio a través principalmente de los colegios jesuitas. En la Universidad de Córdoba, en el Río de la Plata, la difusión inicial de esas teorías se debió al pensador, polígrafo y científico jesuita Domingo Muriel, quien reformó los estudios de ciencias comenzando por una crítica de la escolástica. En todos los países de América donde los jesuitas realizaron el proceso de reforma, lo iniciaron invariablemente con una refutación de Aristóteles y de las tesis científicas de las doctrinas escolásticas. Muriel no fue la excepción. Según un discípulo suyo, el jesuita Francisco Javier Miranda, desde 1750 el padre Muriel:

...hizo un no pequeño beneficio a aquella Universidad, porque rompió y abrió el camino para que en ella, cortando los maestros de filosofía aristotélica muchas superfluidades inútiles, áridas e insípidas que allí se trataban, introdujesen muchas materias útiles, amenas y sabrosas de la filosofía moderna, que antes se miraban allí como géneros de contrabando.

La reforma de Muriel fue plenamente aprobada y sancionada 12 años más tarde, en octubre de 1762, cuando se fundó oficialmente una cátedra de matemáticas, astronomía y física modernas en la universidad rioplatense. En el dictamen del claustro universitario emitido al efecto se afirmaba que esa cátedra debía abrirse:

...para aumentar el esplendor del Colegio y de la Universidad, porque esta clase de estudios siempre han sido recomendados por el Instituto de la Compañía, y aunque su introducción sería una novedad para esta Universidad, no lo es de suyo, pues la hay en otras partes, aun en las Indias. Sería una vergüenza que nuestros alumnos, profesores y estudiantes ignoraran en estas tierras lo que es ahora tan vulgar. Si no se sabe matemáticas es imposible llegar a saber bien la física.

La expulsión de los jesuitas de todos los dominios de España en 1767 cortó este movimiento que, como en otras regiones del Nuevo Mundo, se vio renovado poco tiempo después por diversos núcleos de hombres de ciencia que retomaron la herencia modernizadora jesuita y la llevaron hasta su más alto nivel. Sin embargo, hubo jesuitas rioplaten-

ses que en su destierro italiano continuaron con sus trabajos científicos. Tal es el caso del padre José Antonio Serrano, quien en Faenza se dedicó al estudio de la física y las matemáticas modernas. En 1800 publicó un trabajo sobre los *Planeticoli*, que mereció reeditarse ampliado en 1805. En 1802 editó unas conclusiones de física moderna, y en 1806 un discurso sobre los terremotos. Este último era el texto de una conferencia que había pronunciado en Piacenza “ante una selecta concurrencia de aficionados a esa ciencia”. En 1813 publicó lo que quizá sea su mejor trabajo: la descripción de los astros luminosos, su constitución física, la dinámica de sus movimientos y la interrelación de fuerzas con otros astros o conjuntos celestes. Otro exiliado de renombre científico fue Ramón Termeyer, quien poseía en Faenza un bien abastecido gabinete con microscopio, telescopio y máquinas eléctricas y neumáticas. Sus experiencias con el microscopio las dio a conocer en diversos escritos entomológicos.

Figura destacada entre ese grupo de jesuitas desterrados de la provincia del Paraguay y Río de la Plata fue el astrónomo Alonso Frías, nacido en Santiago del Estero en 1745. Ya en Italia, fue discípulo del célebre Roger Joseph Boscovich en Milán, mientras éste instalaba entre 1773 y 1778 el observatorio de Brera. Ahí permaneció trabajando en compañía de los también jesuitas Ángel de Cesaris y Francisco Reggio, astrónomos y directores del Real Observatorio de Milán. Con ellos elaboró una publicación periódica de renombre internacional, las *Ephemerides Astronomicae*, que se publicaron de 1776 a 1803. Ahí dieron noticia con abundancia de datos y cálculos del cometa de 1781, del eclipse del 15 de junio de 1778, de la ocultación de las estrellas en el recorrido de la órbita lunar, de las estrellas circumpolares y del modo de verificar la posición de la máquina ecuatorial, e incluyeron, entre otros muchos temas, un estudio sobre el cálculo de los paralajes. Dejó Frías un buen número de manuscritos astronómicos inéditos, entre los que mencionaremos los que versan sobre la posición geográfica de Cádiz, sobre las estrellas fijas, sobre el Sol y su posición en el solsticio de invierno, sobre la naturaleza de los planetas y sobre la Luna. Al igual que Boscovich, Frías fue un astrónomo convencido de la realidad del heliocentrismo y adicto a las tesis newtonianas que su maestro supo desarrollar e interpretar de forma tan completa. Recuérdese que a Boscovich se debe la invención del micrómetro anular y la interpretación matemática de las leyes gravitacionales. Además, fue colega de Euler y con él solucionó difíciles problemas.

Otro discípulo de Boscovich fue Manuel Gervasio Gil, de quien llegó a ser un eficiente colaborador. Trabajó en Cremona, Florencia y Placencia. En esta última fue catedrático de física, matemáticas y astronomía. Defendió a su maestro de los impugnadores de sus teorías en un brillante ensayo publicado en 1791 y titulado *Teoría boscovichiana vindicada y difundida*, que mereció elogios de la crítica italiana y francesa. Profundizó sus estudios de física y siete años después dio fin a un tratado sobre la atracción y la repulsión. Un año más tarde completaba una larga disertación sobre la elasticidad de los gases y sus propiedades.

Este selecto grupo de jesuitas rioplatenses dejó una vigorosa herencia intelectual en el virreinato austral. Dentro del grupo de astrónomos fue, quizá, fray Cayetano Rodríguez quien se consagró con más empeño a los temas referentes a la nueva cosmología. De 1781 a 1790 fue profesor de filosofía en el Colegio del Salvador, entendiéndose por el equívoco término "filosofía" las ciencias físico-matemáticas. De sus estudios dejó cinco tomos manuscritos que comprenden la física de los gases, la difracción de la luz y las leyes de la gravitación y del movimiento acelerado. También estudió los fenómenos acústicos. Sin embargo, es la sección dedicada al sistema del mundo donde este franciscano se adhirió sin reservas a la cosmología de Newton. Así, en la segunda parte de su obra discutió el problema de la pluralidad de los mundos y las dimensiones, estructura y composición de la Vía Láctea. Analizó el "verdadero sistema del mundo", es decir, el de Copérnico, y adujo las pruebas a su favor expuestas por Kepler, Descartes, Gassendi y Newton. Más de cien páginas de letra menuda con numerosos diagramas astronómicos están dedicados al tema de la rotación y traslación de la Tierra en su órbita y al estudio de su posición relativa respecto del Sol, la Luna y los demás planetas. También expuso sus cálculos astronómicos, sobre todo de eclipses, observados en el virreinato del Río de la Plata, y concretamente estudió y analizó el de 1783, que corroboraba sus teorías cosmológicas.

La audiencia de Quito también experimentó ese proceso renovador iniciado por los jesuitas criollos. La Ilustración quiteña, que se inicia al mediar el siglo, fue una de las más brillantes de la América española. Desde 1740 la Universidad de San Gregorio fue el núcleo desde el que un grupo de jesuitas inició la crítica de la escolástica y de las teorías científicas del estagirita. De los textos manuscritos anónimos de los primeros cursos renovadores, se ve que la polémica en torno al sistema del mundo era un tema central. Ilustraciones de los sistemas de Pto-

lomeo, Tycho Brahe y Copérnico acompañan a diversas tablas de cálculos de observaciones astronómicas. En la obra de física del padre Marcos de la Vega, catedrático de 1745 a 1748, ya se discuten los diferentes sistemas que tratan de “la constitución de los cuerpos naturales”, incluida la cosmología de Descartes. A este maestro siguieron Joaquín Álvarez, Pedro Garrido y Francisco Xavier de Aguilar, quienes oscilaban eclécticamente entre las viejas teorías y los nuevos planteamientos de las ciencias experimentales. Pero fue con las obras de Juan Bautista Aguirre y Juan de Hospital, es decir, a partir de 1756, cuando se inicia una crítica cerrada del aristotelismo. En su *Tratado de física, según la mente de Aristóteles*, impreso en Quito en 1757, Aguirre dedica una sección a discutir el tema de “El Mundo, el cielo y los elementos”, en la cual expone las nuevas teorías acerca del sistema solar desde Copérnico, aunque, como muchos de sus correligionarios hispanoamericanos de esa década, termina por inclinarse a aceptar el de Tycho Brahe: una solución de compromiso ya que, como escribe Aguirre, “el sistema de Tycho no va en contra de las observaciones astronómicas como el de Ptolomeo, ni tampoco en contra de la Sagrada Escritura, como el de Copérnico; luego, es preferible a dichos sistemas”. El heliocentrismo era una “mera hipótesis”, aceptable científicamente pero inaceptable para la dogmática cristiana. En un pasaje referente a la física de su “Curso de Filosofía”, que data de 1757, emite la siguiente opinión respecto de dicha teoría:

Este sistema parece adecuado para explicar las cuatro variaciones del tiempo del año y el nacimiento y ocaso de las estrellas; pues mientras la Tierra se mueve de occidente a oriente, a los que la habitamos y somos acarreados con ella por su propio movimiento, nos parece que las estrellas caminan hacia el occidente. Así a los que en una nave son llevados por el viento en rápida carrera, les parece que las torres se alejan, y muchas veces creen que se mueven los que están inmóviles en la playa. Sin embargo, la Congregación de la Inquisición Romana el año de 1616 prohibió que se enseñara la doctrina del movimiento de la Tierra y la inmovilidad del Sol, como tesis; permitió con todo, que pudiera proponerse como hipótesis; es decir, prohibió la Congregación que se enseñara que la Tierra se mueve, permitió, no obstante, que se investigue si con la hipótesis copernicana se podían explicar los movimientos de las estrellas. Y no sin razón se prohibió la doctrina de Copérnico, pues muchos testimonios de la S. Escritura prueban que la Tierra está inmóvil y que el Sol se mueve.

Su conclusión, después de exponer el sistema de Tycho Brahe, es la siguiente:

Los modernos astrónomos provistos del telescopio, han observado en la región etérea muchas cosas que los antiguos ignoraban por completo. Por eso para ellos no tiene ninguna probabilidad el sistema de Ptolomeo, del que apenas difiere el de Platón y el de Aristóteles; muchos aceptan el sistema de Tycho. Los modernos ponen a nuestra Tierra inmóvil en el centro del universo; según ellos, los planetas giran con movimiento propio alrededor de la Tierra, excepto dos de ellos, Venus y Mercurio, que asimismo con su propio movimiento giran alrededor del Sol, teniendo a éste como centro.

La obra de Aguirre tiene, además, el mérito de tocar numerosos temas de astronomía y física, “que un filósofo no puede ignorar sin desdoro”, como él dice. Ellos son: las manchas solares, los cometas, el fuego, la gravedad y ligereza de los elementos, los estados del agua, la elasticidad del aire, las distancias entre la Tierra y la Luna y otros planetas, etc. Sus fuentes son numerosas e incluyen a la plana mayor de la Revolución Científica: Copérnico, Galileo, Kepler, Gassendi, Tycho Brahe, Cassini, Newton, Torricelli, Haller, Mariotte, Descartes y Leibniz. Su saber fue enciclopédico, y en esto no tuvo sucesores que imitaran la vastedad de su enfoque científico; ni siquiera su discípulo José María Linati alcanzó la universalidad de su saber.

También el jesuita Juan de Hospital fue figura clave del Siglo de las Luces en la audiencia de Quito. Su principal mérito radica en que, a diferencia de la mayoría de los científicos ilustrados americanos, supo difundir el heliocentrismo con argumentos físicos. En efecto, Hospital señaló que cualquier cuerpo celeste que se desplaza en una órbita elíptica no puede encontrar su centro de gravedad en otro cuerpo celeste menos pesado. Con ello las teorías ptolemaicas y tychónicas quedaban claramente refutadas, ya que la presencia del Sol en el centro del sistema planetario era demostrada por una sencilla razón gravitacional. Aunque los manuscritos de Hospital se encuentran perdidos, expresó claramente su pensamiento a través de los escritos de sus alumnos en la Universidad de Quito. Uno de ellos, Manuel Carvajal, sostuvo en diciembre de 1761 un acto académico bajo la presidencia y aprobación de su maestro, en el cual afirmó lo siguiente:

Se debe rechazar de plano, como contrario a la física y a la astronomía, el sistema de Tolomeo acerca del mundo, sistema que pretende que los cielos

son sólidos. El sistema de Tycho es contrario a las leyes físicas. En consecuencia, se debe preferir a los otros sistemas el de Copérnico, que defiende el movimiento de la Tierra, como el más acorde con las observaciones astronómicas y las leyes físicas.

Y más adelante en ese mismo texto refuta las tesis tradicionales de la física celeste aristotélica:

Por las manchas, principalmente del Sol, se prueba que los astros de hecho se corrompen, no en la totalidad de su substancia, pero sí en algunas de sus partes. Las estrellas fijas brillan con luz propia, los planetas, sólo en luz prestada. Juzgamos que los astros, sobre todo el Sol y la Luna, influyen en los cuerpos sublunares por la acción de su luz y su calor, pero fuera de esto, no ejercen influjo alguno de otra especie. Los cometas no son emanaciones o efluvios de la Tierra, que se encienden en lo alto, como afirman Aristóteles y muchos peripatéticos, ni tampoco vapores o exhalaciones de los cuerpos celestes, como opinan muchos modernos siguiendo a los estoicos, ni finalmente un conjunto de muchas estrellas, como creían otros con Demócrito; son verdaderos planetas, coetáneos del mundo, que realizan su curso en órbitas muy amplias y excéntricas a la Tierra.

La expulsión de la Compañía de Jesús en 1767 no cortó ese impulso renovador del pensamiento ecuatoriano. Fue un discípulo de Aguirre y Hospital, Eugenio de Santa Cruz y Espejo, quien recogió la herencia de sus maestros jesuitas y le dio un sesgo crítico más acusado. En él hallaron cauce diversidad de intereses científicos e históricos, todos ellos marcados por el rechazo absoluto del principio de autoridad y por una entusiasta inclinación por las ciencias modernas, particularmente la física, la geometría, el álgebra y la mecánica.

La Nueva Granada también recibió el influjo reformista de los jesuitas. Después de la expulsión, la crítica de la escolástica permeó todos los intentos de reforma educativa. Un planteamiento de esta tendencia lo hizo Francisco Antonio Moreno y Escandón, fiscal protector de la Audiencia cuando le fue encomendada la reforma de la enseñanza en ese virreinato después de la salida de los maestros de la Compañía de Jesús. En su plan hizo una severa crítica del peripatetismo desde la perspectiva de la física moderna:

Nada tiene de física cuanto hasta aquí se ha enseñado en nuestras escuelas con este nombre; parece que de propósito se ha olvidado el examen de la

naturaleza, y contentándose con algunas expresiones generales, se fue introduciendo un lenguaje filosófico totalmente opuesto al de la verdadera filosofía, y sin tratar de la naturaleza, que es el instituto de la física. Subrogando cuestiones abstractas, que disponían a los estudiantes para otras fútiles cuestiones de la teología escolástica, de donde resulta que siendo una física inútil para los verdaderos teólogos, se hacía extremadamente perjudicial para los estudiantes que debían seguir otra carrera.

El proyecto de Moreno y Escandón se puso en práctica en la década de 1770, o sea, por los años en que Mutis iniciaba la reforma de los estudios universitarios neogranadinos. Su discípulo Caldas nos ha dejado unas cuantas líneas que resultan reveladoras del cambio:

Deseoso de difundir sus conocimientos, tomó (Mutis) a su cargo la enseñanza de las matemáticas en el Colegio Mayor de Nuestra Señora del Rosario, de que obtuvo real aprobación. En aquella época se comenzó a oír en el reino que la Tierra giraba sobre su eje y alrededor del Sol, y que se debía poner en el número de los planetas. ¡Cuántos disgustos le costó persuadirnos esta verdad capital en la astronomía! A pesar de la obstinación de nuestros padres, se formaron muchos jóvenes, y se difundieron los conocimientos astronómicos.

La Nueva España también arrastró durante varios decenios del siglo XVIII la herencia científica de la escolástica decadente, sobre todo en el campo de las ciencias biológicas. A pesar del impulso renovador del siglo anterior, las ciencias exactas tardaron en sacudirse ese lastre filosófico que se resistía a desaparecer. Las ideas cosmológicas aristotélicas surgen una y otra vez en la primera mitad del siglo. Las obras de Cristóbal Grande y de Pedro de Oronoro, ambos franciscanos, ponen de manifiesto el esquema del mundo admitido entonces como ortodoxo y verdadero. Inclusive, en una declaración que hizo ante el Tribunal de la Inquisición en una fecha tan tardía como 1761, Juan Pablo Echegoyen afirmó convencido su creencia en la inmovilidad de la Tierra, confesión que no debemos subestimar por haber sido hecha ante ese tribunal, ya que para dicho año el *De revolutionibus* había sido retirado del Índice de Libros Prohibidos y bien pudo haber confesado, si así lo hubiera creído, aunque no sin riesgos, sus creencias heliocentristas. Como ya vimos, el tema era debatible y controvertido, y ello fue la razón por la que algunos autores se aventuraron a dar soluciones a veces extravagantes, pero siempre tendientes a dilucidar el problema. En 1774,

el teniente coronel e ingeniero militar Félix Prospero rechazó en su libro *La gran defensa* el sistema copernicano y se permitió aventurar una nueva hipótesis sobre el sistema del mundo, según la cual los astros se formaron en la Tierra, de la que se desprendieron posteriormente y, siguiendo una trayectoria en espiral, ascendieron hasta ocupar cada uno el sitio que les conocemos. El movimiento de dichos astros dentro de sus órbitas estaba regido por complicadísimas leyes mecánicas dispuestas por Dios en el cuarto día de la Creación.

En el seno de la Compañía de Jesús, cuyas casas de estudio gozaban de enorme reputación y las cuales cubrían las principales ciudades del virreinato novohispano, se dio uno de los pasos hacia la aceptación de las teorías heliocentristas, aunque hemos de señalar que varios jesuitas estuvieron, a todo lo largo del siglo XVIII y hasta el año de su expulsión, firmemente persuadidos de la realidad física del geocentrismo. Tal es el caso, por ejemplo, de las obras manuscritas de Cristóbal Flores y de Juan Brea, seguidores sinceros de dichas teorías.

El conflicto comenzó a gestarse cuando los jesuitas iniciaron las reformas en sus planes de estudio, tendientes a incorporar las obras de autores científicos modernos a los cursos que impartían. Las teorías copernicanas llegaron a conocerse y exponerse con amplitud, pero sólo eran admitidas, cuando mucho, como una mera hipótesis, que no necesariamente representaba la realidad física del cosmos. Los ejemplos más conocidos de esta actitud, y sin duda también los más significativos, son los de los padres Alegre, Clavijero y Abad. Del primero sabemos que, en la sección de su *Cursus philosophicus* consagrada a estos temas, trató y al parecer enmendó, suponemos que para aceptarla, la teoría cosmológica de Tycho Brahe. En cuanto al padre Clavijero, de quien poseemos el más largo testimonio sobre el asunto, contenido en su *Physica particularis*, diremos que dedicó varias páginas a exponer y discutir el sistema copernicano y a rechazarlo tanto por razones religiosas como físicas. Su conclusión al respecto resulta muy elocuente: "A mí no me es más difícil comprender los movimientos de los copernicanos que los de los tolemaicos y de los tychónicos."

Por varias razones, el caso del jesuita Diego José Abad resulta más interesante, ya que de él sí poseemos un testimonio explícito de su adhesión a la teoría heliocéntrica. Sabido es que en su *Physica particularis* abordó el estudio del sistema del mundo, donde expuso las tesis de Copérnico, Ptolomeo y Tycho Brahe. Sin embargo, no fue sino en su magno poema *De Deo Deoque homine heroica* (1773) donde mostró

sus tendencias científicas heterodoxas, en un hermoso pasaje que resulta bastante elocuente:

Decían antaño que la Tierra se recostaba con pereza y silencio en el centro del mundo y, desde ahí, parada y sin mudanza, contemplaba el amanecer y el ocaso del Sol y los alternativos asomos de la Luna y los viajes circulares de los astros y de los candiles del cielo. Ora les place que la Tierra se mude de su antiguo reposo y haga redondo viaje por entre Venus y Marte, por donde, al parecer de nuestros antepasados, el Sol andaba su camino solícito y desalentaba sus corceles de crines de oro. Por entonces, un letargo y una ociosidad lastimosa vino a embargar al malaventurado Sol, que perezosamente se recorre a los lánguidos centros donde la Tierra torpe yacía. Con los alientos del alma, en veinticinco días gira sobre su eje lenta y fatigosamente, y a más no poder se muda de costado, y sin variar de lugar, se carga sobre el codo y se mueve lentamente. Pero la Tierra, una vez fúgitiva, no contenta con esa ronda su deseo; sino que como suelen las doncellas remudar con orgullo sus ropas y galas de primer uso y procuran con desazón nuevos arreos, ni más ni menos la Tierra, como quien baila en carnaval, cambia su traje y figura. Un tiempo fue como una esfera, cabalmente redonda. Después se la hizo semejante a un huevo, prolongada hacia el extremo de su eje, vacía y hendida por el medio. Fue después al contrario, estrecha como una cebolla, hendida por los extremos de sus polos, el Aquilón y el Austro, y por el vientre dilataba las señales de su gravidez. Así lo trocamos todo según nuestro deseo, y a nuestro gusto damos leyes al orbe. ¡Qué bien que jamás nuestros mandados ejecuta y da sordo oído a nuestras leyes! Si de acuerdo con ellas caminase el orbe, por buenas que lo fuesen, tiempo habría que aquél, cansado y roto, hubiese sucumbido.

Los jesuitas mexicanos influyeron vigorosamente, por medio de sus cursos y de la propagación de los modernos autores científicos, en las generaciones de la segunda mitad del siglo, que ya no dudarían acerca del verdadero sistema del mundo. Un ejemplo clásico es el del jesuita Salvador Dávila, de quien sabemos que disertaba en sus cátedras sobre las teorías de Descartes, Leibniz y Newton, además de que era muy inclinado a los estudios astronómicos. Así lo afirma un biógrafo contemporáneo suyo, el padre Maneiro, quien escribió de su correligionario lo siguiente:

Se deleitaba extraordinariamente en el estudio de la astronomía; había estudiado con el mayor contento y dedicación los sistemas del mundo de Tolomeo, Copérnico y Thycho Brahe; con grandes esfuerzos había aprendido

las conocidas leyes de Kepler acerca del movimiento y distancia recíproca de los planetas, según el periodo determinado de tiempo que necesita cada uno para dar vuelta alrededor del centro común. Y en general, le gustaba sobremanera cuanto a estas cosas se refiriese, ya se tratara de aprender algo nuevo, ya de verificar con experimentos lo que antes había estudiado en los libros.

También el padre Agustín Castro exponía en sus cursos las teorías de Descartes y Newton, por incompatibles que fuesen entre sí en el aspecto astronómico. La difusión de Newton en México data, pues, de mediados del siglo, y a ello contribuyó en no poca medida el que los jesuitas editaran en Ginebra los *Principia* entre 1739 y 1742, añadidos con textos de Bernouilli, MacLaurin y Euler, quienes fueron, de esta manera, también conocidos y estudiados, hecho que sería un poderoso fermento para la aceptación del sistema heliocéntrico por parte de los criollos ilustrados de la segunda mitad del siglo. Una figura de excepción dentro del movimiento renovador jesuita americano fue Andrés de Guevara y Basoazábal, nacido en Guanajuato en 1748 y muerto en Plascencia en 1801, en el exilio. Dejó manuscrita una obra de gran importancia para la historia de las ideas acerca del sistema del mundo, los *Pasatiempos de cosmología*, en la cual se adhiere plenamente a las tesis copernicanas y discute con amplio conocimiento las bases físicas de las leyes newtonianas. En esto radica el valor de su disertación: en que está apoyada en datos astronómicos y en consideraciones físicas. Años después, ya en Italia, publicó sus *Instituciones elementales de filosofía*, que se reeditó varias veces y sirvió de libro de texto en las universidades europeas y americanas, sea completa en sus cuatro gruesos volúmenes o en forma de resumen. Esa obra, que le dio renombre internacional, es una exposición sistemática de la ciencia moderna para uso de los estudiantes, en particular los de su patria, a los cuales exhortó a seguir los estudios de filosofía moderna y de las ciencias empíricas. Para lograr su propósito, diseminó a lo largo de su obra muchos datos históricos que mostraban la marcha progresiva de las ciencias modernas desde Copérnico. Sus elogios de Galileo, Descartes, Bacon y Newton reflejan su interés en persuadir a los estudiantes del valor de la actividad científica.

A partir de 1767 diversos autores, la mayoría criollos y discípulos de los jesuitas, tomaron la iniciativa tanto en el campo de la pedagogía científica como en el de la investigación. Entre ellos destaca Juan Beni-

to Díaz de Gamarra, originario de Zamora, Michoacán, donde nació en 1745. Falleció en 1783. En su obra *Elementa recentioris philosophiae*, publicada en México en 1774, expuso las teorías gravitacionales de Newton y analizó los sistemas de Ptolomeo, Copérnico y Tycho Brahe. Rebatío con demostraciones físicas y matemáticas los sistemas geocéntricos, y aceptó la tesis del segundo, cuyo sistema del mundo calificó como “más fácil y mucho más apto para fundar las observaciones astronómicas y las demostraciones”. Sin embargo, para no incurrir en censuras, añadió al final de su exposición un texto que lo ponía a buen resguardo:

Pero queden dichas estas cosas de paso no para que tengamos el sistema de Copérnico y Galileo como comprobado y decidido, puesto que ya desde el principio dijimos que nosotros lo adoptamos sólo como mera hipótesis para explicar los fenómenos.

A pesar de esto su adhesión al sistema heliocentrista era total, como lo demuestra el siguiente pasaje de su obra:

La hipótesis copernicana es más ordenada y entrelaza en una serie armoniosa el sitio y la disposición de los cuerpos celestes; puesto que en ella ninguno de los planetas primarios corta la órbita del otro... como en el sistema de Tycho; después, las revoluciones de todos los planetas se llevan a cabo sobre un mismo centro, es decir, el Sol, contrario de lo establecido en el tychónico.

Nuevos indicios de un cambio en las mentalidades se habían ya dejado sentir por los años en que Gamarra preparaba su obra y fuera de los círculos docentes jesuitas. Alzate nos ha dejado un valioso testimonio al respecto en su *Diario literario* del 18 de marzo de 1768, en el cual daba noticia de las tesis defendidas en Querétaro en enero de ese año por el franciscano José de Soria, que portaban el nombre de *Sex dierum spatio mundum condidit Deus*. Ahí disertó sobre si el Sol era planeta o estrella fija y la gran dificultad que existía en determinar el sistema del mundo, admitiendo como hipótesis válidas los sistemas copernicano y tychoniano. Al referirse a este último, Alzate puso una discreta nota que hablaba por sí misma: “Este sistema lo defienden como tesis muchos físicos, porque suponen la Tierra en reposo.” Más explícito fue su contemporáneo, el matemático Diego de Guadalajara, quien en su obra

Advertencias sobre la utilidad de los relojes (1777), al referirse a los múltiples usos de los mismos escribió lo siguiente:

Bien visibles son las utilidades que el mundo político cristiano saca de esta nobilísima invención de la máquinas de medir el tiempo, cada una en su clase, y según sus efectos... extendiéndose el primor de estas ingeniosísimas máquinas hasta tocar lo intrincado de los movimientos y periodos de los astros, oportunamente aplicadas en el centro de una esfera, en que se imagina situado al Sol, según la hipótesis de Copérnico.

Seis años después, en 1783, al imprimir una traducción del poema de Abad, el bachiller Diego Bringas de Manzaneda creyó oportuno, en el pasaje donde el jesuita expone el sistema heliocéntrico y las diversas teorías acerca de la figura de la Tierra, aludir expresamente a Newton y a Huygens. Una actitud similar adoptó Alzate en 1789, al analizar en su *Gacetas* el *Curso filosófico* del padre Isidoro de Celis, obra impresa y enseñada en los colegios del Perú. Al referirse a los sistemas del mundo, Alzate afirma que Celis “adopta el copernicano, como el más conforme a las observaciones astronómicas, y a la ley general de la naturaleza, la atracción”. Aquí cabe advertir que Alzate ya toma en consideración, para aceptar el sistema copernicano, la teoría newtoniana de la gravitación a la cual estaban sujetos tanto los planetas como los cometas, al describir todos ellos “sus órbitas en un tiempo determinado al derredor del Sol”. También ilustrativo resulta otro testimonio, el del prelado franciscano Manuel María Trujillo, quien en 1786 sostuvo abiertamente que la armonía celeste sólo era inteligible cuando se seguía “el galante pensamiento de Nicolás Copérnico”. Asimismo, afirmó que los planetas y los cometas giraban alrededor del Sol siguiendo leyes matemáticas inmutables que regían a todos los cuerpos celestes, incluyendo las miles de estrellas de la Vía Láctea separadas de la Tierra por distancias imposibles de ser calculadas.

Pese a la clara tendencia a aceptar como verdadero el sistema copernicano que se percibe en estos dos últimos decenios del siglo XVIII —en la que desempeñó un no pequeño papel la adopción en los colegios novohispanos de la obra de Francisco Jacquier, *Institutiones philosophicae* (1757), obra a la cual Alzate hace referencia—, las resistencias estaban lejos de haber sido apagadas. Ello explica que en 1812 apareciera uno de los libros más curiosos y anacrónicos de la ciencia novohispana, del cual cabe aclarar que, aunque fue impreso en México,

su autor fue el español santanderino Fermín de Reygadas, quien, a pesar de tener suficientes conocimientos de astronomía teórica, como mostramos líneas arriba, dio muestras de estar en patente rezago respecto de los científicos criollos en lo referente a la moderna concepción del cosmos, aceptada y adoptada por éstos. El título del libro era *Idea astronómica, el sistema copernicano censurado*, y gozó para su publicación del dictamen aprobatorio nada menos que de Fausto de Elhúyar. Ahí su autor intentó mostrar matemática y astronómicamente el error del heliocentrismo, con argumentos que, desde el punto de vista de la historia de la ciencia, no carecen de interés. Después de exponer los varios sistemas del mundo y en particular el copernicano, Reygadas aborda la crítica de éste. Al argumento heliocentrista que afirmaba que si la Tierra fuera el centro del sistema planetario, el Sol, en su movimiento anuo y diurno, tendría que desplazarse a velocidades altísimas alrededor de la Tierra, le opone la tesis de que el Sol se halla a una distancia menor de nosotros de lo que suponían los astrónomos, hecho que explica ese movimiento en forma más aceptable al entendimiento. Sus otros argumentos, que no estuvieron exentos, en alguna época, de cierto peso, son: la mayor simplicidad que él le atribuye al sistema geocéntrico, las características del magnetismo terrestre y la presunta velocidad de la Tierra al girar sobre su eje, entre otros. Después de analizar en detalle cada uno de ellos, propone su propia teoría, la cual resume en los siguientes términos:

Suponiendo a la Tierra en reposo en el centro del universo y haciéndola centro común de todos los graves, la circunvolución de los astros alrededor de ella, es una disposición menos repugnante que la de hacer girar la Tierra fuera de aquel centro en una órbita que tarda en correr un año. Al globo terráqueo lo juzgo mayor y más pesado que otro alguno de los astros. Para sostener tal mole fuera del centro universal, sin velocidad que equilibre su pesantez, es necesario un milagro perpetuo de la Divinidad. ¿Qué necesidad tenemos de suponer este milagro en obsequio del sistema planetario? Otro se necesita en él para la Luna.

El controvertible libro de Reygadas suscitó una efímera pero altamente ilustrativa polémica entre un defensor de la tesis anticopernicana, de nombre Zubero, y el ilustrado y sabio Lucas Alamán. Las opiniones opuestas fueron ventiladas en el *Diario de México* el 30 de agosto y el 6 de septiembre de 1812. En su escrito, Alamán se mostró

como un conocedor de la mecánica celeste newtoniana y de los argumentos que sostenían y daban validez al heliocentrismo. Su tesis central la podemos considerar como el epílogo de una larga lucha librada en México entre las concepciones tradicionales y el mecanicismo ilustrado, y bien puede servir de colofón a este apartado: "Se ha considerado por observaciones exactas que las leyes de la atracción universal descubiertas por el gran Newton, corresponden perfectamente a la teoría copérnica y no son adaptables a ninguna otra." A pesar de que Aláman no era astrónomo, es evidente que con esa toma de posición planteaba no sólo su rechazo a una teoría anacrónica, sino también, en su carácter de criollo ilustrado, su oposición a un español peninsular, lo que en ese año de efervescencia revolucionaria en la América hispánica posiblemente tenga una connotación no exclusivamente científica sino también política.

3. LAS MATEMÁTICAS EN EL SIGLO XVIII

Debido al desarrollo de los estudios geográficos, náuticos y astronómicos, favorecidos por los viajes de reconocimiento, el virreinato del Río de la Plata fue también, desde su creación en 1776, un lugar donde lograron desarrollarse con cierta amplitud los estudios de matemáticas puras y aplicadas. El agrimensor catalán Juan Alsina, experto piloto que llegó a Buenos Aires en 1782, fue quien, junto con Pedro Cerviño, fundó la primera Escuela de Náutica. Cerviño era un ingeniero gallego que llegó al virreinato el mismo año que Alsina y que, después de realizar una expedición científica al Chaco en 1783, se radicó en Buenos Aires y se dedicó a la enseñanza de las matemáticas. En 1813 levantó un gran plano topográfico de la capital porteña. La creación de esa institución, dedicada al estudio de las matemáticas, la ingeniería, la arquitectura y la náutica, respondía a la necesidad de un grupo de estudiantes entusiastas que desde hacía varios años abogaban por la creación de esas cátedras, pues afirmaban que "no hay ciencia o arte de cuantos contribuyen honor o comodidad a la vida humana que no deban primordialmente sus aumentos a los auxilios de las matemáticas". En la propuesta inicial de Alsina, fechada el 27 de agosto de 1798, elevada como solicitud al Consulado, ofrecía que en su Escuela de Náutica se enseñarían diversas materias útiles a pilotos, ingenieros y agrimensores tales como trigonometría esférica, geometría avanzada, cálculo de longitudes y lati-

tudes, uso de los cuadrantes, longimetría y cartografía y, por último, interpretación de la esfera celeste, “para poder por medio de ellos —expresa la petición— calcular los problemas astronómicos de la Cosmografía anexos a esta Facultad y los problemas geográficos operados por el globo”. La petición logró la aprobación del capitán de navío y distinguido hombre de ciencia Félix de Azara, quien votó favorablemente por la creación de esa institución, la cual se abrió el 5 de octubre de 1799, cambiando su nombre por el de Academia de Náutica. Alsina y Cerviño impartían las materias principales. El primero enseñaba cosmografía, geografía, globo terrestre y celeste, navegación y técnicas instrumentales. El segundo daba matemáticas, incluido cálculo infinitesimal, y mecánica con todas sus aplicaciones. Poco después, Alsina se retiró de la Academia y abrió una más especializada Escuela de Pilotaje.

Al tiempo que se fundaba la Escuela de Náutica se fundó también una Academia de Geometría y Dibujo. El 23 de febrero de 1799, el profesor Juan Antonio Gaspar Hernández dirigió al Consulado una petición “para establecer una Escuela de Geometría, Arquitectura, Perspectiva y todas la demás especies de dibujo”. Solamente solicitaba se le concediera “una sala con bancos, mesas y luces”, ya que él se ofrecía a enseñar en forma enteramente gratuita. El 28 de febrero el Consulado turnó la nota petitoria al síndico Antonio de las Cagigas para que la dictaminara. El síndico se mostró favorable y recomendó se encargara a don Manuel Belgrano para que en compañía de Hernández hicieran el presupuesto de esas instalaciones. Aprobado éste inició sus funciones con el permiso virreinal en julio de 1799, y aunque su existencia fue breve, logró impartir cursos de matemáticas, perspectiva, dibujo y elementos de arquitectura.

En cuanto a Cerviño, quien continuó solo en la Academia de Náutica, diremos que no fue sino hasta 1802, del 10 al 13 de marzo, que se practicaron los exámenes públicos del primero y único curso impartido hasta entonces. Fue presidido por el virrey don Joaquín del Pino, y constaba de 407 proposiciones y temas, que fueron respondidos y comentados por 16 estudiantes avanzados. Se premió a los cuatro mejores: Miguel Cuyar, Pascual Lazcano, Francisco de la Cruz y Francisco Javier Ygarzábal, a quienes se les obsequió respectivamente con un sextante, un *Compendio de matemáticas* de Benito Bails, un octante y el *Tratado de navegación* de Jorge Juan. Ese mismo día Manuel Belgrano hizo un elogio público de los logros de la Academia en la formación de pilotos “útiles a todo un Estado y en particular a estas Provincias”.

Hizo además un reconocimiento público de Cerviño, quien “sin sueldo y sin traerlo a consideración —afirmaba Belgrano— enseñaba con el mayor desinterés, franqueando sus libros e instrumentos sin recompensa alguna; no es otro su objeto que el hacer jóvenes de provecho que hagan honor a la Nación”. En cuanto a sus habilidades docentes, dijo:

La posesión que tiene de las matemáticas y los deseos de que se extienda su estudio le hacen emplear medios tan sabios para su enseñanza, por lo que toca a la parte náutica, que en el espacio de dos años presenta jóvenes instruidos en los ramos que manifiesta el cuaderno de las proposiciones que tenéis en vuestras manos, y entre ellos hay algunos que ya saben levantar y lavar planos con la posible perfección para el tiempo que han gastado, no obstante la escasez de medios e instrumentos para el efecto.

Cerviño dejó varios manuscritos en torno a los estudios matemáticos o de las ciencias con ellos relacionados. En uno de dichos textos, que data de 1806, titulado *Discurso en que se prueba que para ser buen piloto, es necesaria la astronomía*, hizo una recapitulación del plan de estudios seguido por la Academia:

La Aritmética, la Geometría Elemental y Práctica, la construcción del canon trigonométrico, la Trigonometría rectilínea y esférica, la Cosmografía, Geografía e Hidrografía, el sistema del mundo con los principios de Astronomía necesarios para determinar por observación la latitud y longitud, y la aplicación de estas ciencias a las cuestiones de navegación, son las materias que se enseñan a los que sólo aspiran a ser Pilotos.

Y a estas materias hay que añadir:

...el Álgebra y la aplicación de esta ciencia a la Aritmética y la Geometría, que con su auxilio se enseñan las propiedades de las curvas cónicas, se pasa inmediatamente al cálculo infinitesimal, cálculo maravilloso, cálculo sorprendente, cálculo que hará inmortales los nombres de Newton y Leibniz... La Astronomía que eleva al hombre sobre sí mismo a la teoría física de los cuerpos celestes y de las fuerzas recíprocas con que los planetas alteran sus movimientos y que hacen variar a los cometas el periodo de sus revoluciones y las épocas anunciadas de sus retornos.

Concluye su texto con un elogio de Newton y de Copérnico, de quienes dice que borrarán para siempre los errores de la antigüedad.

Discípulo aventajado de Cerviño fue Carlos O'Donnell, quien desem-

barcó en Buenos Aires en 1802. Era también gallego, natural de La Coruña, aunque de ascendencia irlandesa. Ingresó como auxiliar en la Academia de Náutica, pero quedó sin empleo en 1806 al clausurarse dicho establecimiento. Dos años después, al inaugurarse un nuevo centro de estudios matemáticos en la Universidad de Córdoba, fundado por el deán Funes, quien de su peculio asignó 500 pesos para la dotación de la cátedra de matemáticas, que incluía álgebra y geometría, el nombramiento recayó en O'Donnell. Los cursos se iniciaron el 16 de marzo de 1809 y los exámenes públicos se presentaron el 18 y 19 de diciembre de ese año, con 22 estudiantes, en la iglesia de la Compañía de Jesús o de Montserrat, presididos por Funes. El acto fue brillante, lo que hizo que claustro y rector decidieran dar un premio al profesor. Los exámenes se repitieron con un nuevo grupo en diciembre de 1810. Sin embargo, la cátedra decayó y desapareció en 1812 a raíz de los sucesos políticos de mayo de ese año, que sacudieron al virreinato del Río de la Plata.

En el reino del Perú el desarrollo de las matemáticas ilustradas está vinculado al nombre de Cosme Bueno, antes mencionado, catedrático de esa materia en la universidad. Es él quien con sus obras da un impulso a la actividad matemática, sobre todo en la vida académica. Sus sucesores, sobre todo Gabriel Moreno y Joaquín Gregorio Paredes, se inclinarían por las matemáticas aplicadas, especialmente por los estudios náuticos y astronómicos. Paredes incluso llegó a ser piloto de navío. Además, fue quien llevó y conservó la cátedra de matemáticas después de la independencia del Perú, continuando con la tradición ilustrada. Esto no fue impedimento para que actuara como diputado y brillante estadista de la joven nación. Otro matemático, consagrado a la estadística y también a la actividad política, fue José Domingo Choquehuanca, más conocido por su célebre pieza oratoria en elogio de Simón Bolívar. En 1833 publicó un trabajo sobre las estadísticas económicas de la provincia de Azángaro, en el departamento peruano de Puno. Este ejemplo lo siguió José María Córdoba y Urrutia, quien publicó en 1839 una muy completa estadística histórica, geográfica, industrial y comercial de los pueblos que componían las provincias del departamento de Lima.

Desafortunadamente, otras regiones de la América ibérica no tuvieron una tradición matemática similar a la peruana, a la rioplatense o, como veremos más adelante, a la novohispana. Las universidades de Guatemala, Quito y Caracas no alcanzaron la aprobación real para las

cátedras de náutica y matemáticas que habían proyectado. La Universidad de San Felipe en Chile, fundada en 1738, no inauguró su cátedra de matemáticas hasta 20 años después, con resultados bastante pobres. Incluso la isla de Cuba, cuya tradición en los estudios astronómicos y náuticos contaba con científicos de valía, vio decaer ostensiblemente los estudios matemáticos en la primera mitad del XVIII, a pesar de que desde la fundación de su universidad, en 1728, y en los estatutos que la regían, que datan de 1734, se especificaba la naturaleza y propósito que debía tener la cátedra de matemáticas. Debía impartirse la aritmética práctica, la geometría, la trigonometría y la astronomía, así como las ciencias relacionadas con ellas: arte de navegar, arquitectura, geografía, cosmografía, estática, mecánica, óptica, dióptrica y catóptrica. La Universidad de La Habana inauguró su cátedra de matemáticas en 1729 y fue su primer catedrático Pedro Menéndez. Sin embargo, para 1751 ya se hallaba en decadencia por falta de un catedrático competente. A pesar de las repetidas gestiones de las autoridades universitarias para revitalizar esa materia, la cátedra se cerró en 1787 por falta de alumnos. Sólo se reanudaría hasta 1816. Sin embargo, los estudios matemáticos continuaron en Cuba en el Real Seminario de San Carlos donde era catedrático a principios del siglo XIX Pedro de Abad y Villarreal. Los cursos que se seguían eran tres. En el primero se estudiaba aritmética, geometría especulativa, trigonometría plana y geometría práctica; en el segundo álgebra, aplicación de álgebra a la geometría, secciones cónicas, cálculo infinitesimal y principios generales de mecánica; y en el tercero estática, hidrostática, hidráulica, trigonometría esférica y astronomía geométrica y física.

El desarrollo de las matemáticas en Cuba también se debió, como en el caso del Río de la Plata, a las labores de exploración y reconocimiento realizadas por la marina española desde el último tercio del siglo XVIII. Resultado de esos trabajos fue la conformación del mapa hidrográfico de Cuba, en el cual intervinieron en la década de los setenta el oficial naval José de San Martín y, 20 años más tarde, Ventura Baracaiztegui, José del Río, Juan Henríquez y Dionisio Alcalá Galeano, entre otros. Humboldt utilizó las observaciones de algunos de estos marinos en su *Ensayo político sobre la isla de Cuba*, cuya edición española data de 1827. En ella, el viajero alemán incluyó un "Análisis raciocinado del mapa de la isla de Cuba", donde discute los datos astronómicos que utilizó y da testimonio de los marinos y astrónomos cuyos informes y cálculos le facilitaron la elaboración de ese mapa.

No es difícil comprender por qué Humboldt a su paso por la Nueva España se haya formado una opinión tan positiva acerca de las instituciones científicas que poseía y de lo avanzado de sus cátedras de matemáticas, química, física y botánica, las más adelantadas, según él, de todo el continente americano, incluidos los Estados Unidos. Sin embargo, esta apreciación es de principios del siglo XIX, después de que México había recibido los impulsos científicos renovadores fomentados por los borbones españoles. El cuadro que pintó es, pues, el del último tercio del siglo XVIII, en que, en efecto, las ciencias en México lograron un gran desarrollo. Sin embargo, en el caso concreto de las matemáticas, existe una marcada diferencia entre lo realizado en la primera mitad del siglo y lo hecho desde 1750. Entre 1700 y 1750 no aparecen figuras de la estatura intelectual de Diego Rodríguez. La cátedra de astrología y matemáticas que él fundó en 1637 halla un momento de alto nivel con Sigüenza y Góngora y con Gamboa y Riaño, y luego se estabiliza hasta la llegada de los excelentes matemáticos del último tercio del siglo. Esto explica que de la primera mitad de esa centuria sean pocos los escritos matemáticos que han llegado hasta nosotros. En 1724, Mateo Calabro elaboró un *Curso matemático* que ha quedado manuscrito. Es un tratado de geometría con fines prácticos (agrimensura, topografía) que incluye una sección sobre el uso del compás. El objetivo que persiguió su autor al redactar una obra como ésta fue el mismo que había animado a Joseph Sáenz de Escobar unos decenios antes, cuando preparó su *Geometría práctica*. Con una finalidad más teórica aunque de carácter bastante más elemental es la *Aritmética* de Pedro Antonio Vázquez, de la cual sólo nos ha llegado un breve fragmento también manuscrito. Fue datada en 1715, y trata de los quebrados, sus clases y los cálculos que pueden realizarse con ellos, así como otras operaciones aritméticas rudimentarias. Estas obras, como la de Sáenz, acuden a fuentes tradicionales de las cuales transcriben literalmente los conceptos. Así vemos aparecer citas de textos no poco envejecidos como los de Pérez de Moya; aunque también existen alusiones a los más modernos tratados de Zaragoza, Caramuel o Tosca.

De mayores alcances es la obra matemática y náutica del criollo poblano Antonio de Alcalá, quien perteneció a la selecta comunidad científica que floreció en dicha ciudad en la primera mitad del siglo XVIII. Alcalá fue presbítero y contador general del obispado de Puebla. Su voluminosa obra comprende tratados de náutica, cronometría, geografía y astronomía, y toda ella ha permanecido inédita. En 1748 redactó

un *Tratado en que se contienen los problemas hasta hoy no resueltos en la geometría con la práctica y observación de la estrella para saber el grado de longitud en la que uno se halla*. Esta obra analiza el sempiterno problema del cálculo de la longitud por medio de las observaciones simultáneas de un astro o de un evento celeste en dos puntos diferentes del globo, para poder así calcular la diferencia de horas entre dos meridianos. Esto dio a su autor oportunidad para disertar en torno al problema de la cronometría y el uso de los relojes, que por entonces era tratado por varios autores, en particular por el inglés John Harrison, quien logró determinar con gran precisión la longitud en alta mar. Tres años más tarde, en 1751, Alcalá trató más ampliamente este asunto en la obra que lleva por título *Explicación y construcción del instrumento o relox universal para la observación de los grados de longitud*, que es también un tratado teórico de astronomía. En este escrito da instrucciones para construir un reloj de su invención destinado a lograr datos cronométricos dignos de fe para el cálculo de la longitud. Toda su exposición sigue de cerca los escritos astronómicos del jesuita José de Zaragoza, y en particular su *Esfera en común celeste y terráquea*, aunque al disertar sobre ese curioso invento al que llama "relox universal" hace acopio de sus propios cálculos. En 1753 este sabio poblano elaboró como coronamiento de sus dos estudios anteriores una obra náutica que dedicó al rey Fernando VI, y que lleva el nombre de *Tratado que contiene la instrucción náutica para el buen éxito y gobierno de las naos*. Ese mismo año dio fin a su *Geometría fundamental: contiene los cuatro problemas hasta ahora no resueltos, con la práctica de las medidas de aguas y tierras*, en el que trata acerca de la trisección de un ángulo, la duplicación del cubo y la cuadratura del círculo. De este último problema, cuya permanencia en los tratados novohispanos de geometría es digna de consideración, Alcalá trata largamente y propone nada menos que tres soluciones distintas.

Las instituciones educativas religiosas mexicanas de la primera mitad del siglo no fueron ajenas a la enseñanza de las matemáticas. La cátedra universitaria de esta ciencia seguía impartándose regularmente a los médicos, aunque su nivel no era particularmente elevado. Dentro de las instituciones docentes fueron probablemente los jesuitas quienes más afanosamente se consagraban a enseñar las matemáticas, y es larga la lista de obras de esta ciencia destinadas a la enseñanza producidas por ellos; además de que contaban con una detallada reglamentación tendiente a obtener frutos óptimos de esta cátedra. Las obras de Clavio,

Tacquet, Zaragoza, Schott o Fabri tenían curso común entre sus estudiantes, aunque haya que señalar que, en lo que a la Nueva España del XVIII se refiere, estos programas seguían la pauta tradicional de los estudios matemáticos, donde había poca cabida para los nuevos y espectaculares avances logrados por esta ciencia desde mediados del siglo anterior. Las ramas de la matemática explicadas por los jesuitas en sus aulas seguían siendo las de un siglo atrás, a saber: aritmética, geometría, álgebra, trigonometría, secciones cónicas, óptica, acústica, gnomónica, cronología, música y astronomía; por ello no nos debe extrañar que los textos matemáticos redactados por jesuitas novohispanos se hayan ceñido a exponer uno o varios de estos temas. El ejemplo más relevante es el del sabio Francisco Javier Alegre, quien compuso unos *Elementos de geometría*, una disertación sobre las *Secciones cónicas* y un *Tratado de gnomónica*, además de que estudió la construcción y el uso de los instrumentos matemáticos a partir de las obras de Bion y de S'Gravesande.

Por otra parte, los actos universitarios a veces versaban sobre temas matemáticos, aunque solían frecuentemente derivar hacia temas más propios de la metafísica, muy del gusto de la época. Así, sabemos que el bachiller José Brizuela sustentó un largo examen en que, de las 24 materias sobre las que disertó, seis fueron demostradas por métodos geométricos. Otros destacados estudiosos de estas abstrusas disciplinas fueron José de Peredo y Juan José Guerra. Este último demostró geométricamente la existencia de Dios y la inmortalidad del alma, y en su época fue considerado como una autoridad en ciencias físico-matemáticas.

De otra tónica son los estudios realizados por los ilustrados mexicanos de la segunda mitad del siglo. En este grupo destacan nombres como Agustín de la Rotea, Bartolache y León y Gama. La obra escrita del primero de ellos que ha llegado hasta nuestros tiempos es escasa y da poca idea de lo que debió ser su obra perdida. Según Alzate, su primer biógrafo, Rotea fue un presbítero tan sabio como carente de recursos y a quien no se le habían reconocido méritos. Originario de Puebla, llegó a ser un hábil latinista y un consumado geómetra, por lo que el padre Gamarra lo había comisionado para que redactara la sección matemática de sus *Elementa recentioris philosophiae*, la cual apareció inserta en esta obra llevando el título de "Elementorum geometriae". Este texto es el único que poseemos de dicho autor. En él trató en forma sumaria los temas geométricos necesarios en la resolución de ciertos problemas de física, como la composición de fuerzas, vectores, palancas y funcionamiento de diversas máquinas; problemas que Gamarra

analizó en la sección científica de su obra. Sin embargo, según el mismo Alzate, Rotea elaboró una obra cuyo contenido, de ser el que nos dice, sería altamente novedoso para su momento, pues era un tratado de geometría elaborado fuera de los principios euclidianos. Tan singular obra no ha llegado hasta nosotros, ya que, de acuerdo con el testimonio de Alzate, que transcribimos a continuación, se perdió en vida misma de su autor:

Compuso un curso de geometría, en el que abandonando el método de Euclides, siguió un nuevo plano, en el que con demostraciones más sencillas y más metódicas, se resuelven los problemas; pero este trabajo tan útil aunque infructífero para el autor y que debía coronarle la frente de laureles fue el fermento que le agrió los días que le restaban de vida. Porque cansado al fin de luchar con tantas dificultades como se le ofrecieron para la impresión de su obra, la abandonó de tal modo que ni aun cuidó de quedarse con copia de ella, ni sabía en manos de quién podía hallarse, expresiones que le oí algunos meses antes de morir.

Este testimonio es digno de ponderación, aunque con las obvias limitaciones que le impone su singularidad y la ausencia de la fuente matemática misma.

Dos obras matemáticas, debidas a los otros científicos ilustrados arriba mencionados, tienen un particular interés dentro de este apartado, por el valor y el mérito de su contenido. La primera de ellas es debida a José Ignacio Bartolache y fue publicada en 1769 con el título de *Lecciones matemáticas*. En ella, su autor disertó ampliamente sobre el método matemático y sobre la naturaleza de esa ciencia y abogó por hacer extensivas a otras ciencias las reglas del método geométrico que él mismo había empleado en su exposición, es decir, aquel que conduce de las definiciones y los escolios a los corolarios y las resoluciones. Su conclusión era la siguiente:

La misma contemplación de estas reglas ofrece, que una ciencia en que así se hubiera procedido, no podía menos que comprender, a más de sus principios, cantidad de verdades deducidas unas de otras con el más exacto método. Habría pues en ella buenas definiciones, axiomas y postulados en su lugar, teoremas demostrados al rigor, problemas resueltos de un modo indefectible, corolarios, escolios, etc. Luego la dicha ciencia será tratada con el mismo método que los géómetras tratan las matemáticas, que es el matemático.

La serie de autores “muy juiciosos y metódicos” en los que fundamenta su exposición es larga, aunque es evidente, como él mismo afirma, que, en toda esa profesión de fe a favor del *more geométrico*, su deuda principal la tiene con el “célebre Renato Des Cartes”.

Dieciséis años después de publicado el texto de Bartolache, en 1785, un anónimo insertó en la *Gazeta de México* lo que consideraba la solución definitiva del problema de la cuadratura del círculo. A esta peregrina ocurrencia respondió León y Gama con un erudito artículo que apareció en el mismo vehículo periodístico con el título de *Carta de don Antonio de León y Gama al autor de la Gazeta*. En ella, este sabio hacía una recapitulación histórica de las soluciones propuestas desde Arquímedes hasta Leibniz, y concluía, con el matemático Wallis, que “es tan imposible el cuadrar exactamente el círculo como sacar exactamente la raíz de una cantidad sorda”. Exponía, a continuación, el método seguido por el anónimo y demostraba, por métodos trigonométricos, el carácter irracional de π y la inexactitud de los cálculos realizados por el otro matemático, el cual le había asignado a esa constante un valor equivocado, hecho que le había permitido a la postre cuadrar cómodamente el círculo. La diferencia de los resultados obtenidos por ambos autores acreditan a León y Gama como un sagaz calculista, ya que las aproximaciones de su contrario no eran nada desdenables.

Todavía dentro de esta etapa, que como hemos visto comprende el desarrollo en México de lo que podríamos llamar “matemáticas tradicionales” (aunque, como en el caso de León y Gama, llevadas a extremos notables de desarrollo), podemos incluir la obra de un anónimo autor quien en 1772 desarrolló con gran ingenio e inventiva un “instrumento aritmético”, al que bautizó con el nombre de “rueda calculatoria”. Las razones que lo llevaron a concebir y desarrollar una máquina de este tipo las expuso el autor a la cabeza de su escrito:

Contemplando que la matemática tiene en todos sus tratados muchas y primorosas demostraciones manuales, con que certifica la verdad de sus reglas; y mirando a la aritmética destituida de un instrumento manual que sirva de testimonio a su doctrina, cuando como madre suministra la leche de los primeros rudimentos para el ingreso a aquella prodigiosa ciencia, he dispuesto esa “rueda calculatoria” en la cual no sólo se absuelve la demanda de cualquier cuenta con la mayor naturalidad, sino que hace visible el fundamento y raíz del número, que es el punto.

Este tipo de artificios mecánicos, de los cuales el más célebre es el inventado en 1642 por el matemático Blas Pascal, lograron una notable difusión en el siglo XVIII. Nuestro desconocido calculista no escapó al parecer a esa corriente, y con suficientes conocimientos diseñó —y presumiblemente también construyó— una máquina calculadora con capacidad para obtener guarismos del orden de los cien millones. El aparato sumaba, restaba, multiplicaba y dividía, y fue construido por su autor para ayudar a realizar operaciones con todo tipo de cifras, incluidos quebrados. Dado lo precario y rudimentario de los métodos habituales de cálculo, todavía en la segunda mitad del siglo XVIII, es evidente la utilidad de un recurso de este tipo.

Como en otros aspectos del saber científico, los estudios de matemática moderna arribaron a la Nueva España en las postrimerías del siglo con las nuevas instituciones educativas. A su paso por México en 1803, Humboldt observó que los estudios de matemáticas impartidos en el Real Seminario de Minería eran más avanzados que los seguidos en la universidad. La cátedra de esta ciencia impartida por Diego de Guadalupe en la Real Academia de San Carlos ya incluía algunos temas de matemáticas modernas, pero fue sin duda en la Escuela de Minas donde lograron mayor impulso y difusión. En el *Plan* original de estudios, que data de 1790, se especificaba que durante el primer año los aspirantes debían cursar aritmética, álgebra, geometría elemental, trigonometría plana y secciones cónicas, y en el segundo año, geometría práctica. Desde esas fechas comenzó a utilizarse la obra *Elementos de matemáticas* (1772), de Benito Bails, que ya exponía ampliamente el cálculo infinitesimal así como la geometría analítica. En esta obra de carácter eminentemente didáctico se formaron muchos de los matemáticos e ingenieros mexicanos de fines del siglo XVIII y primeros decenios del XIX.

Desde 1798 se dispuso que el curso de física diera principio con una exposición de cálculo diferencial e integral, pero fue hasta 1802 cuando, a iniciativa de Manuel Ruiz Tejada, quedó incorporado el cálculo infinitesimal al segundo curso de matemáticas. Según Humboldt, estos estudios eran sólidos y avanzados, y vaticinó que los egresados de la Escuela de Minas poseerían una buena formación matemática, lo que les permitiría realizar cálculos y observaciones astronómicas con precisión. Entre estos distinguidos alumnos estuvo Rafael Dávalos, quien se hizo cargo de la cátedra de matemáticas en el Colegio de Guanajuato en 1806. Había ingresado al Real Seminario en 1800, auxilió a Humboldt en 1803 en la elaboración de sus cartas geológicas y tres años

después estaba en aquella ciudad minera como profesor. En 1810 fue arrestado y fusilado por su colaboración con el movimiento insurgente y por el delito de traición al rey. Otro ilustre matemático y también simpatizador, como éste, de la causa insurgente, fue José Antonio Rojas. Poblano de origen, fue ayudante de química de Lindner en los cursos que impartió en 1798 y 1799, y asumió la cátedra de esta ciencia en el Colegio de Guanajuato en febrero de 1804. Por sus tendencias filosóficas fue declarado "hereje formal, materialista" por el Santo Oficio, apenas ocho meses después de inaugurar sus cursos de química. Alcanzó a huir a los Estados Unidos y desde Baltimore envió en 1807 un documento en el que declaraba su inocencia, por lo que atrajo sobre sí una condena aún más violenta.

El estudio de las matemáticas, sean tradicionales o modernas, en la Nueva España no quedó circunscrito, durante la segunda mitad del siglo XVIII y principios del XIX, a los círculos capitalinos, poblanos o guanajuatenses. Durante este lapso floreció en Guadalajara uno de los más preclaros y prolíficos matemáticos de la época colonial: José María Mancilla. Obtuvo el grado de doctor en teología por la Universidad de Guadalajara en 1794 y pasó a ser párroco de San Juan de los Lagos en 1803. Ahí estuvo hasta 1816, y desde este año hasta el de 1829 lo fue de Lagos. Su pasión favorita fue el estudio de las matemáticas, hasta el grado de que descuidó notoriamente sus labores pastorales, lo que le atrajo las censuras de su diocesano. Su obra impresa es copiosa y la inédita lo es más. En 1813 publicó dos sesudos artículos acerca de la cuadratura del círculo, y entre 1818 y 1820 dio a la estampa en diversos periódicos de México y Guadalajara varias disertaciones acerca de la naturaleza de las curvas y de las relaciones del diámetro de un círculo con su área, tratados bajo el punto de vista del cálculo integral.

Por último, cabe mencionar someramente algunos de los aspectos de las matemáticas aplicadas en México en el lapso que estudiamos. Hemos para ello seleccionado dos casos particulares que por su importancia en la historia de la tecnología americana debemos mencionar aquí. El primero de ellos es el del célebre desagüe del Valle de México y el segundo el de la red de caminos del virreinato novohispano. El primero atiende a un aspecto concreto de la ingeniería hidráulica y el segundo a un ejemplo de la ingeniería civil que se multiplicó a todo lo largo y ancho de la América hispánica.

Gran reto para la ingeniería ha sido siempre el desagüe de la capital de México y en general de todo su valle. A principios del siglo XIX, el

barón de Humboldt, al hacer un balance sobre las obras del desagüe del Valle de México, atribuía el origen de las frecuentes y calamitosas inundaciones que aquejaban a la capital a la diferencia en nivel de los principales lagos que en esa época ocupaban el hermoso valle. La ruptura del equilibrio provocada por las intensas lluvias era el origen de los desastres. Éstas son sus consideraciones:

La diferencia de altura a que se encuentran, en el valle de Tenochtitlan, los cuatro principales depósitos de agua, se ha hecho sentir en las grandes inundaciones a que ha estado expuesta la ciudad de México desde una larga serie de siglos. En todas ellas el curso de los fenómenos ha sido constantemente uno mismo. El lago de Zumpango, engrosado por la creciente extraordinaria del río de Cuautitlán y de las aguas de Pachuca, vierte las suyas en el lago de San Cristóbal, al cual conducen las *ciénegas* de Tepejuelo y de Tlalpanahuilo-ya. El lago de San Cristóbal rompe la calzada que le separa del lago de Texcoco. Últimamente las aguas que rebosan de este último estanque elevan su nivel más de un metro, regolfan con ímpetu en las calles de México, atravesando las tierras salinas de San Lázaro. Tal es el curso común de las inundaciones; las cuales vienen del norte y del noroeste. Para alejar sus riesgos, se dispuso el desagüe real de Huehuetoca; pero con todo, es seguro que concurren muchas circunstancias para temer que las avenidas del sur, sobre las cuales no tiene el desagüe ninguna influencia, puedan ser no menos funestas a la capital.

Desde la época prehispánica las inundaciones y crecidas anegaban la que fue la capital primero del imperio mexicana y luego del virreinato de la Nueva España. Uno tras otro, primero los tlatoanis y luego los virreyes, emprendieron obras para conjurar la amenaza, que iban desde enormes diques hasta la apertura del canal de Huehuetoca mencionado por Humboldt.

Las obras del desagüe forman uno de los capítulos más interesantes de la historia de la tecnología en México. Cuando el barón alemán contempló los trabajos de ingeniería realizados durante casi tres siglos, no dudó en calificarlos como “una de las obras hidráulicas más gigantes-cas que han ejecutado los hombres”. Y en efecto, a lo largo de ese periodo los esfuerzos desplegados fueron enormes, sea en mano de obra indígena, sea en dinero, sea en proyectos. Una y otra vez los virreyes acudían a los peritos para llevar a cabo obras adecuadas, y una y otra vez las inundaciones anegaban la ciudad. El célebre tajo abierto por Enrico Martínez a principios del xvii y continuado por una larga lista de ilustres ingenieros había probado ser una idea acertada pero insufi-

ciente, ya que no se habían llevado hasta su culminación las obras proyectadas, debido en buena medida a la anarquía que prevaleció siempre en el desarrollo de las obras, unida a la irresolución de algunos gobernantes a cuya conducta errática bien puede atribuirse que hayan existido tantas inundaciones como proyectos tendientes a eliminarlas. En efecto, los documentos que han llegado hasta nosotros sobre este asunto son muy numerosos e incluyen relaciones de las visitas realizadas a las obras por los virreyes, dictámenes de oidores, superintendentes y arquitectos, pareceres de los fiscales y opiniones particulares de frailes expertos a quienes se acudía. Y los fenómenos eran cíclicos, tanto los meteorológicos como los burocráticos. Así, a uno o dos años de torrenciales aguaceros e inundaciones, que llevaban aparejados voluminosos y no pocas veces impracticables proyectos de solución, sucedían periodos de calma pluvial y de incuria gubernamental, o sea, un descenso en los volúmenes de lluvia y de papeleo. Entonces, las obras se abandonaban casi completamente, había derrumbes y azolves que cegaban canales y obstruían el tajo, propiciando su inoperatividad para la siguiente época de lluvias intensas.

La segunda mitad del siglo XVIII no fue ajena a esta multiplicidad de proyectos. Lo que los hace diferentes de los anteriores es la aplicación de técnicas geodésicas de alta precisión. Repasaremos algunas de ellas. El primero que conviene recordar fue de José Antonio Alzate y data del 26 de julio de 1767. En él, su autor perseguía “el facilitar a poca costa un modo de desagüe, fundado en razones y experiencias”. Alzate proponía cuatro soluciones: abrir un socavón al sur o sureste de la capital, cosa impracticable; abrir un tajo al noreste de las lagunas, obra tardada y costosa; desaguar con máquinas, lo que era insuficiente y caro, y por último reconocer los sumideros que —según se decía— existían en el valle. En caso de no ponerse en práctica ninguna de sus cuatro propuestas, Alzate sugería hacer un sumidero artificial. Afirmaba que el modo más sencillo para desaguar las lagunas era abrir una zanja o acequia desde las orillas del lago de Texcoco hasta algún cerro donde existieran oquedades subterráneas que se llenaran por simple gravedad. A continuación se oponía a aquellos que abogaban por desecar totalmente las lagunas, pues aseguraba que se rompería el equilibrio ecológico y no podrían aprovecharse los terrenos del fondo por ser, el de Texcoco, “salobre”.

Pocos meses antes, en marzo de 1767, bajo la administración del marqués de Croix, fueron practicados reconocimientos del tajo por el

ingeniero Ricardo Aylmer y por el maestro mayor de arquitectura Ildelfonso de Iniestra Vejarano, quienes calcularon el costo de la conclusión de apertura del canal en 1.2 y 1.5 millones de pesos, respectivamente. En su *Informe* al virrey, Aylmer recomendaba abrir el tajo y descubrir todas las bóvedas, ensanchando el canal y acentuando el declive. El virrey, después de considerar estos pareceres, ordenó por decreto del 4 de mayo de 1767 se continuaran las obras a tajo abierto. Dos años más tarde Iniestra Vejarano elaboró un mapa de Chalco en el reconocimiento que hizo de esa laguna y de la de Xochimilco, dentro de su proyecto general de desagüe y de la construcción de un canal navegable desde Chalco hasta Huehuetoca.

De mayor entidad fue el *Informe* elaborado por Velázquez de León a instancias de Bucareli, para estudiar el desagüe del valle. Este sabio practicó desde fines de 1773 nivelaciones y triangulaciones. Sus conclusiones para evacuar todas las aguas de la laguna de México estaban apoyadas en una serie de cálculos geodésicos que exhibían las diferencias de nivel entre la laguna y el canal de Huehuetoca. En ese mismo año, Felipe y Francisco de Zúñiga y Ontiveros levantaron un preciso mapa de este canal en las inmediaciones de la laguna de Zumpango.

Una nueva y grave inundación, en 1795, hizo que al año siguiente el virrey marqués de Branciforte ordenara la abertura de dos canales por medio de los cuales se desaguaran las lagunas de Zumpango y San Cristóbal. El socavón fue calculado por el "Director de Matemáticas" de la Academia de San Carlos y físico experimentado Diego de Guadalajara, y "se perfeccionó después por tajo" por el maestro mayor Ignacio Castera. Este ingeniero elaboró en 1795 un valioso plano orohidrográfico de todo el desagüe, que iba incluido en un proyecto para conectar por medio de un canal navegable Chalco con La Viga, que según Humboldt hubiera sido de gran ayuda para el comercio, además de que sería un tercio más corto que el que entonces existía. Este plan incluía la desecación de los lechos de los lagos de Xochimilco y Chalco y la venta de sus tierras, "que por el lavado de agua dulce que han recibido por tantos siglos, han llegado a ser muy fértiles". Humboldt coincidía con Castera, de quien cita un *Informe* manuscrito, en la conveniencia de estas medidas útiles a la agricultura y a la salubridad, pues la parte sur del valle era la que mejores tierras tenía para el cultivo, aunque señalaba los peligros de aumentar la sequedad de la atmósfera. Recomendaba para neutralizar este mal emprender dentro de una concepción más general otras obras hidráulicas que incluyeran la construcción

de canales de riego, depósitos de agua para tiempos de sequía y esclusas “ que al mismo tiempo que contrapesen las diversas presiones nacidas de la desigualdad de sus tramos, se abran para recibir y retener las crecidas de los ríos”. Y concluía con un oportuno consejo: “Estos depósitos de agua, distribuidos en alturas convenientes, podrían servir también para limpiar y lavar periódicamente las calles de la capital.”

La historia de las vías de comunicación terrestres de la América ibérica es uno de los capítulos más interesantes de la historia de la tecnología, pero también de la historia de las relaciones comerciales y de la difusión de ideas, creencias y costumbres en el vasto imperio español de América, que logró hasta cierto punto una eficiente articulación de sus colonias a través de caminos y carreteras cuya historia está, en buena medida, por escribirse. Un estudio de un caso como es el de la Nueva España puede ilustrar brevemente la magnitud del tema. En un país como México, de complicada orografía, es evidente la importancia que tiene la traza y construcción de caminos. En la época colonial la red de comunicaciones era vital para articular los centros agrícolas y ganaderos, los reales mineros y las ciudades y puertos. Desde el siglo XVI se estableció una red de caminos, algunos nuevos y otros antiguos, ya que no fueron pocas las ocasiones en que se utilizaron las viejas rutas indígenas. Sin embargo, dada la gran extensión del territorio, es lógico que esa integración, favorecida por los caminos, se diera muy tarde y nunca en forma del todo satisfactoria. Humboldt, que recorrió algunas zonas del Altiplano, pudo señalar los ejes que atravesaban el reino y su función económica y política. Al efecto, escribió:

Como las comunicaciones con Europa y Asia no se hacen más que por los dos puertos de Veracruz y Acapulco, todos los objetos de importación y de exportación pasan necesariamente por la capital, que por esta razón se ha hecho el punto central del comercio interior. La ciudad de México, situada sobre el lomo de las cordilleras, dominando, se puede decir, sobre los dos mares, está distante en línea recta, 69 leguas de Veracruz, 66 de Acapulco, 79 de Oaxaca y 440 de Santa Fe del Nuevo México. Resulta de esta posición de la capital, que los caminos más frecuentados y más importantes para el comercio son: 1) El de México a Veracruz, por la Puebla y Jalapa; 2) El de México a Acapulco, por Chilpancingo; 3) El de México a Guatemala, por Oaxaca; 4) El de México a Durango y a Santa Fe del Nuevo México, vulgarmente llamado el *camino de tierra adentro*; los caminos que van de México, sea a San Luis Potosí y a Monterrey, sea a Valladolid y a Guadalajara, pueden considerarse como ramificaciones del camino real de las *Provincias*

Internas. Con sólo pasar la vista sobre la constitución física del país, se verá que por grandes que sean algún día los progresos de la civilización, no podrán nunca ser sustituidos estos caminos por navegaciones naturales o artificiales...

Ahora bien, los ejes de comunicación que como hemos visto convergían en la ciudad de México tuvieron desde fecha temprana muchas ramificaciones: hacia el norte con las zonas mineras de Pachuca y Zacatecas, hacia el occidente conectaba con el importante centro abastecedor del valle de Toluca que conducía a Michoacán, la Nueva Galicia y la costa del Pacífico. Los caminos del sur, por Cuautla o Cuernavaca, llevaban a tierra caliente y al puerto de Acapulco. El camino a Puebla, por Río Frío, conducía a Atlixco y Oaxaca. El antiguo camino a Veracruz pasaba por los llanos de Apan y, sin tocar Puebla, pasaba por Jalapa y descendía al golfo. A principios del siglo XIX se llegó, inclusive, a buscar un camino alternativo a Guatemala que, siguiendo la ruta México-Jalapa-Veracruz, llegara a Tabasco y de ahí descendiera hasta esa capitania general. La condición física de estos caminos no era muy buena, y aunque Humboldt afirmaba que en la llanura central se podía viajar “en coches de cuatro ruedas, en todas direcciones, desde la capital a Guanajuato y Perote”, la realidad era que las rutas estaban en mal estado de conservación, semidestruidas por las lluvias, la erosión y el uso, cuenta aparte de las accidentadas cordilleras que debían atravesar y que los hacían a menudo serpentear al borde de abismos y barrancas.

Como en otros aspectos de la cartografía científica moderna de la Nueva España, también los planos topográficos y de perfiles de caminos de la segunda mitad del siglo XVIII forman un legado valioso. Varias rutas nuevas fueron estudiadas y algunas inclusive fueron construidas. Así, desde 1768, el virrey marqués de Croix, con base en los trabajos topográficos de Felipe Narvarte y de Miguel Valero, concibió la idea de un nuevo camino que conectara Toluca con la capital. El proyecto no se realizó, pero en 1785 Víctor Valero Olea lo resucitó, y dirigió al virrey Bernardo de Gálvez un interesante proyecto de apertura del camino que tiene valiosas consideraciones económicas y sociales. Sin embargo, no fue sino con Revillagigedo que se dio comienzo a la obra. El ingeniero Manuel Mascaró calculó los costos en 102 330 pesos y determinó el nuevo itinerario del camino. Después de varios reconocimientos, terminó por seguir el propuesto por Narvarte casi un cuarto de siglo antes.

La construcción de un nuevo camino entre México y Veracruz, tan elogiado por Humboldt, se llevó a cabo en medio de una tensa pugna de intereses comerciales, en la que no pocas veces las determinaciones topográficas de los ingenieros jugaron un papel determinante. Humboldt describió en forma concisa las raíces de la querrela:

Se ha disputado por mucho tiempo si el nuevo camino de México a Veracruz debía pasar por Jalapa o por Orizaba. Como estas dos ciudades tienen un gran interés en la dirección de este camino, han empleado, por rivalidad, todos los medios para hacer valer sus derechos cerca de las autoridades constituidas. De ello ha resultado que los virreyes han abrazado alternativamente ambos partidos, y que en esta indecisión no se ha construido camino ninguno.

De hecho, los comerciantes del Consulado de México deseaban que la carretera pasara por Orizaba, mientras que los del de Veracruz, que tenían estrechas relaciones comerciales con los de Jalapa, deseaban que atravesara por esta ciudad y por Perote. Inclusive, las opiniones de los ingenieros que fueron enviados a hacer levantamientos se dividieron en dos grupos opuestos. Finalmente, en 1796, Branciforte se decidió a otorgar el permiso para construir el camino pasando por Puebla y Orizaba, en manifiesta oposición, no sólo al Consulado de Veracruz, sino también a los dictámenes técnicos que en 1784 había dado el experto ingeniero Miguel del Corral y en 1798 el cartógrafo Diego García Conde, quienes habían decidido que por Jalapa eran "menores y más fáciles de vencer los obstáculos que nacen de la naturaleza del suelo". Sin embargo, con la llegada del virrey Iturrigaray la balanza se inclinó hacia el otro lado, no sólo porque las ventajas por Jalapa eran mayores desde el punto de vista técnico, sino porque los recursos económicos, producto de los impuestos recabados por el Consulado de Veracruz en la muy transitada carretera de Jalapa, eran cuantiosos. Así, en 1805 los trabajos de construcción por esta ciudad estaban muy adelantados, en contraste con los financiados por el Consulado de México vía Orizaba. Humboldt, que visitó Jalapa en febrero de 1804, se percató del avance logrado bajo la dirección de García Conde en los parajes que a su parecer presentaban mayores dificultades, y encomió su labor.

V. MINERÍA Y METALURGIA

1. LAS TÉCNICAS DE INGENIERÍA DE MINAS

CAPÍTULO RELEVANTE DE LA HISTORIA DE LA TECNOLOGÍA en la América colonial es el referente a la extracción y beneficio de los metales preciosos. Como toda industria de explotación en gran escala, agrupó múltiples y diversas técnicas encadenadas a todo lo largo del proceso productivo. Dichas técnicas debían estar articuladas en un conjunto orgánico coherente y conjugadas de forma que permitieran alcanzar una mayor eficiencia y, por tanto, una mayor productividad. Desde los métodos de perforación de túneles a lo largo de vetas casi siempre argentíferas, hasta los procedimientos de acuñación de la plata, toda una gama de técnicas aparece en una cadena ininterrumpida. Sobre todo, los procesos químico-metalúrgicos de la fase de beneficio de los metales han captado la atención de los estudiosos de la ciencia y de la técnica de las colonias hispánicas de América, tanto por su originalidad como por su perdurabilidad a lo largo de tres siglos. Sin embargo, como es lógico suponer, toda una tecnología de ingeniería de minas se desarrolló paralelamente a las técnicas químicas de beneficio de los metales. Fue una tentativa de resolver los problemas de la empresa minera colonial, que muchas veces rebasaron a las técnicas propuestas para resolverlos. De hecho, desde que empezaron a explotarse intensiva y sistemáticamente los yacimientos metalíferos en el siglo XVI, los peritos se enfrentaron a varios problemas básicos, tales como el trazado de mapas de superficie, el cálculo de socavones para desaguar minas inundadas o el trazo de planos que indicaran la longitud y dirección de los tiros y túneles. A fines del XVIII estos problemas seguían sin resolverse satisfactoriamente. Humboldt, quien definió a una mina como “el conjunto de las obras subterráneas que sirven para beneficio de uno o más criaderos metálicos y que se comunican unos con otros”, observó a principios del siglo XIX el gran atraso existente en las técnicas de “geometría subterránea”, y en general en la ingeniería de las minas, en México y Perú. El sabio viajero hizo notar que la falta de planos resultaba altamente perniciosa, pues no se conocía la verdadera configuración

de la red de pozos, tiros y galerías que formaban una mina, lo que provocaba que muchas de las labores de perforación, desagüe o ventilación que se realizaban fueran poco fructíferas y a menudo inútiles. La mayoría de los mineros eran ignorantes de la “geometría subterránea” y los peritos a los que acudían por lo general estaban poco capacitados.

Una de las causas de esta complejidad radicaba en la intrincada orografía de la mayoría de las zonas mineras de América, el mismo factor determinante de la complicada red de comunicaciones de la época colonial. A fines del siglo xvii el científico novohispano Sáenz de Escobar, a quien ya nos referimos al tratar los problemas de la agrimensura, evaluaba este problema en los siguientes términos:

...fuera cosa facilísima medir minas, si éstas estuviesen en sitios llanos; pero no se hallan sino en montes y peñascos altos y muy ásperos o en barrancas casi impenetrables; pues sólo la ambición y codicia pueden allanar tantas dificultades.

Consciente de estas dificultades, este perito jurista y matemático redactó extensas notas acerca de la ingeniería de minas y de los principios teóricos de la geometría subterránea que llevan el título de *Tratado de las medidas de minas*. Este valioso escrito aborda también los aspectos jurídicos de la minería, ya que los litigios originados por las demarcaciones interiores de las minas eran muchos. Antes de iniciar su exposición, Sáenz creyó necesario hacer una distinción entre las técnicas de agrimensura propiamente dichas y las técnicas de medidas de minas, así como las diferencias jurídicas entre ambos tipos de propiedad. Al efecto enumeró 12 consideraciones que señalaban básicamente que en ambos casos el “modo de adquirir el dominio” era diferente, ya que los mecanismos burocráticos para obtener la merced eran distintos, de la misma manera que también lo eran cuando se perdía. Indicaba, asimismo, que los sitios o estancias no tenían restricción en cuanto al número de ellos que podía poseer un terrateniente, cosa que no sucedía en el caso de las minas, ya que las autoridades pensaban que el limitar el número de minas que podía poseer una persona era el único modo de “poner freno a la ambición y codicia”. Recordó que las mercedes de tierras se otorgaban delimitando sólo la superficie deseada, en tanto que las de minas estaban referidas también a su profundidad, lo que llevó a disertar sobre la forma geométrica de unas y otras. En fin, Sáenz señaló que el modo de medir tierras de sitios y caballerías se rea-

lizaba de acuerdo con “los cuatro vientos principales: oriente, poniente, norte y sur”, en tanto que las minas podían medirse “por otro cualquiera de los treinta y dos vientos, según el minero quisiere, porque las ordenanzas le dan amplia facultad para que las varas que a la pertenencia de la mina tocan, las pueda tomar por el hilo de la veta, atravesando la veta, o como más bien visto le fuere; y aun las vetas en su hilo llevan varios rumbos naturalmente”.

Aclaradas estas diferencias, Sáenz expuso las técnicas para elaborar un mapa de minas. El primer paso consistía en determinar la forma “geométrica” de la mina, y para ello, el medidor debía:

...imaginar la mina como si estuviere en una superficie plana y como si arrasase el monte, y ya que esto no se hace en la realidad, debe valerse del arte para ajustar la cuenta, y que se manifieste tan clara que a la vista se haga patente que ésta excelencia tiene la geometría.

• A continuación explicó el uso de los instrumentos necesarios para la medición: el agujón para determinar el rumbo, los niveles para saber si la regla estaba paralela al horizonte, las escuadras y reglas para calcular los ángulos, el semicírculo graduado para observar distancias, la regla dióptrica para especular y determinar distancias insalvables tales como barrancas, y, en fin, cordeles, plomadas, compases, reglas y pitipiés para las mediciones y el trazado de mapas “en un papel”.

Después de explicar la manera de elaborar los planos de superficie y de señalar cómo debían indicarse las acotaciones y colocarse las estacas en las bocas de las minas, Sáenz pasó a explicar la técnica de elaboración de planos internos, así como la forma de calcular la “profundidad” de un tiro si éste era perpendicular, o bien su “inclinación” cuando se ha perforado “ganando longitud y profundidad”. Mostraba, asimismo, cómo calcular la latitud y la manera de ir trazando el mapa subterráneo. Sus consideraciones acerca de las cualidades que debe tener un plano levantado por un ingeniero y las diferencias que guarda con los realizados por peritos con fines más artísticos que prácticos son muy interesantes y conviene transcribirlas aquí, para darnos cuenta de cómo se hacía sentir ya, a fines del siglo XVII, la necesidad de una concepción más científica de la cartografía. En este sentido sus ideas son bastante claras:

Aunque es cierto que con las demostraciones pintadas se hacen evidentes los puntos de geometría, y que explica más una delineación que muchas

palabras, sin embargo, para la explicación de una medida interior de mina no pueden las líneas manifestar la longitud y latitud a los cuatro vientos y juntamente la profundidad, sino cada cosa de por sí y haber de ser imaginarias las otras. No ignoro que el excelente arte de la pintura, ayudado de sombras y luces, finge a la vista profundidad con longitud y latitud para explicar en lo plano de un lienzo unas casas, palacios, templos que parezca salen unas columnas afuera y otras se divisan muy adentro, y que para todo sirven uno o más centros de donde sacadas las líneas, alargan y acortan las figuras, uniendo con lo perfecto de la pintura lo primoroso de la perspectiva. Pero todo esto es aparente y en la realidad unas líneas cortas menores que la cosa representada hacen que la vista se engañe, todo lo cual no podrá el medidor, que quiera Dios entienda lo necesario; y así procuraré por el modo posible explicarme para que en todos haya inteligencia y sepan medir en lo interior las minas.

Medio siglo más tarde, cuando el abogado criollo novohispano Francisco Javier Gamboa redactó y publicó en Madrid, en 1761, sus justamente célebres *Comentarios a las Ordenanzas de Minas*, no sólo recopiló las consideraciones jurídico-técnicas de Sáenz, sino que incluyó buena parte de sus esquemas y diagramas, así como las explicaciones que este autor daba para medir interiormente las minas, elaborar planos o para la acertada excavación de socavones, tiros o lumbreras. Además deploró profundamente la ignorancia de la geometría subterránea que tenían los medidores de minas lo que, según él, era la causa del “malogro de crecidos caudales”. Así, aparte del interés jurídico la obra de Gamboa lo tuvo también práctico; es por esto que resulta una continuación valiosa —pues logró ser impresa— de la obra de Sáenz de Escobar. Sobre los *Comentarios* de Gamboa tendremos oportunidad de volver más adelante. Ahora bien, en el caso específico de México, estas tentativas de difundir los conocimientos esenciales de “geometría subterránea” se vieron refrendados en las *Reales Ordenanzas* de minería de la Nueva España de 1783 y en el empeño que pusieron los catedráticos del Real Seminario de Minería de México en este vital asunto. En 1792, el profesor de geometría Andrés José Rodríguez y el de física Francisco Antonio Bataller habían ofrecido escribir unos apuntes sobre ese tema, “por falta de una obra especial”, para que sirvieran de texto. Como para 1802 nada se había logrado y Bataller ya había fallecido, se comisionó a Andrés del Río, quien había hecho estudios de esa ciencia, para que tradujera del alemán una obra sobre el tema pero no llegó a hacerlo. Redactó en cambio un *Arte de minas*, que da instrucciones so-

bre las técnicas de excavación y perforación de galerías y tiros. Es sabido, por lo demás, que los cursos del Seminario incluían el estudio de los planos de minas, y su levantamiento era tema obligado en las disertaciones de los aspirantes a técnicos en las minas del reino.

Toda esta labor de adiestramiento en los arduos asuntos de la ingeniería minera halló, poco a poco, eco entre los peritos, y aunque los resultados no fueron satisfactorios hasta bien entrado el siglo XIX, es evidente que sí hubo una sensible mejora en la elaboración de planos, sobre todo en la segunda mitad del siglo ilustrado. Y esto se echa de ver no sólo en los planos de superficie, varios de los cuales nos ponen de manifiesto la distribución de los reales mineros, sino también en los perfiles y cortes, algunos de gran precisión, elaborados por peritos metalurgistas e incluso por astrónomos y matemáticos de renombre.

La inundación de las minas fue probablemente el mayor obstáculo que afrontó la minería colonial en los tres siglos de la dominación española. Las filtraciones de agua arruinaban en poco tiempo las vetas más florecientes, que permanecían anegadas largos años, hasta que un osado y emprendedor minero arriesgaba buena parte de su capital para intentar el desagüe y la rehabilitación de la mina, lo que le permitía un nuevo periodo de explotación hasta que el nivel creciente de las aguas lo obligaba a abandonar las labores. En las obras consagradas a la minería colonial del siglo XVIII, todavía se insistía en la ruina que sufrían los mineros por causa de las inundaciones, sin que se pudiera recurrir a métodos verdaderamente eficaces para contrarrestar tan grave daño, ya varias veces secular. Multitud de escritos oficiales y técnicos de la época, redactados tanto por burócratas de la administración colonial —incluidos algunos virreyes— cuanto por mineros y empresarios, dan testimonio de la ruina de las minas por causa de las inundaciones.

Varios factores naturales propiciaban que una mina se anegara. La ubicación topográfica, la profundidad de las excavaciones, las zonas aledañas montuosas, el tipo de tierra del lugar y el volumen de precipitaciones pluviales eran algunos de los factores que determinaban que una mina estuviese más o menos sujeta a periódicas inundaciones, como fue el caso de Potosí, Guanajuato o cerro de Pasco. Había minas poco profundas que recibían grandes caudales de agua en época de lluvia, por filtraciones copiosas debidas a la naturaleza del terreno. No existía regla fija para conocer si una mina era en mayor o menor medida vulnerable a este fenómeno, ya que en la mayoría de los casos se presentaban situaciones que eran imponderables en el inicio de las la-

bores pero que, a la postre, determinaban la duración de la vida de una mina. Desde los primeros decenios coloniales los mineros hubieron de ingeniárselas para resolver ese problema. Ya para 1567, los mineros de Zacatecas en la Nueva España se quejaban de que las minas profundas estaban inundadas. El mismo problema aquejaría a las de Sombrete y Guanajuato. Aun las primitivas explotaciones hubieron de recurrir a diversos arbitrios para evitar que el agua las cubriera, siendo los principales la perforación de un socavón de desagüe o el uso de malacates, norias, cigüeñas y un tipo rudimentario de bombas. Todos ellos eran recursos utilizados en Europa desde tiempos antiguos que habían sido trasplantados a las nuevas tierras. El método de socavón resultaba el más eficaz, pero su costo era muy elevado y existía el riesgo de perforar un largo túnel que luego resultara inoperante; por eso pocos mineros se atrevían a seguirlo, aunque cabe decir que algunos de ellos, en el siglo XVIII, lograron espectaculares ganancias al perforar túneles de desagüe que rehabilitaron una o varias ricas minas anegadas. Debe señalarse que este recurso de excavar un túnel inclinado desde el sitio anegado a efecto de que el agua corriera hacia abajo por simple gravedad y se secara la veta, requería de buenos conocimientos de geometría subterránea, sobre todo cuando dicho socavón debía articularse con otro u otros túneles para desaguar galerías concentradas en un área bien delimitada. Es obvio, por otra parte, que este método era impracticable en vetas que corrían en las partes inferiores de las laderas montañosas o en los fondos de los valles; pero en las partes superiores sí era practicable, y los conocimientos topográficos y de geometría subterránea se hacían imprescindibles para que el túnel que se perforaba incidiese en el sitio inundado y no se desviase, con el consiguiente gasto de dinero y de trabajo humano. Como dijimos, durante casi toda la época colonial la minería no contó con un trabajo subterráneo adecuado. Los peritos medidores de minas a la hora de medir, dar contraminas o socavones, lumbreras o tiros, se dejaban llevar por conjeturas que en muchos casos condujeron a resultados desastrosos. El uso de planos topográficos de las minas, elaborados con base en brújulas y otros instrumentos de medición, sólo se dio en contadas ocasiones. El método de desagüe por medio del malacate fue muy socorrido en México durante toda la época colonial y buena parte del siglo XIX, aunque su uso estuvo casi siempre restringido a las grandes minas que disponían de tiros adecuados. Debemos señalar que en el Perú su utilización fue muy limitada. Durante el siglo XVI, en las minas menores el agua se

sacaba en botas de cuero y a cuestras por los operarios. El empleo de malacates exigía la perforación de tiros verticales precisos y, por tanto, un buen conocimiento de geometría subterránea. Este aparato, descrito con ciertas variantes por algunos tratados europeos de mecánica del siglo xvi, era de gran sencillez y sus principios mecánicos bastante rudimentarios. Consistía básicamente en una polea que giraba impelida por fuerza animal o incluso humana (en otras operaciones, este sistema podía emplear fuerza motriz hidráulica), que giraba una cadena de sacos de cuero que subían el agua desde el fondo del tiro hasta los vertederos de evacuación. El costo de mantenimiento era alto, tanto por los animales de tracción cuanto por los cueros empleados, cuya duración era limitada debido a la fricción que sufrían las bolsas, al ascender, contra las paredes del tiro. Las norias y las cigüeñas partían de principios mecánicos semejantes a los del malacate y su funcionamiento era parecido. Lo más usual era que los mineros intentaran combinar el método del socavón, que les secaba la veta, con el del malacate, que les permitía hacer descender el nivel diario de las aguas que se filtraban, siempre y cuando el volumen de éstas no fuera muy grande.

El uso de bombas rudimentarias no fue desconocido para los mineros novohispanos o peruanos del siglo xvi, aunque fue restringido. Su eficacia no era muy buena, sobre todo en minas profundas, y la fuerza motriz a base de animales era costosa, aunque por otra parte es obvio que eran más manejables que los malacates, menos aparatosas y más fáciles de instalar. Aunque no ha sobrevivido ningún diseño de las mismas, es muy probable que fueran del tipo rudimentario utilizado en las minas europeas desde muchos años atrás: estaban formadas por cadenas, troncos de árboles ahuecados para servir de conductos, pistones y válvulas de paso. No muy diferentes debieron ser las bombas que Hernán Cortés mandó utilizar en las minas de Taxco para lograr su desagüe, aunque de ser cierta dicha noticia, estos aparatos sólo pudieron funcionar en sitios poco profundos y con volúmenes de agua ciertamente no muy grandes.

En el caso concreto de México, esta metodología para desaguar minas, por rudimentaria que nos parezca, permitió el florecimiento de la industria argentífera novohispana hasta los niveles que conocemos. Algunas hazañas en la excavación de túneles de desagüe fueron incluso muy redituables, como fue el caso, entre otros muchos, del socavón perforado en 1671 en el cerro de San Pedro, en San Luis Potosí, que tenía una longitud de unos 230 metros. Es evidente que todas las ope-

raciones de este tipo requerían cierta pericia matemática. El viajero italiano Gemelli Carreri vio a fines del siglo xvii cómo, en Pachuca, se llevaban a cabo labores de perforación de un canal subterráneo que permitiría que dos minas se desaguasen al verter el líquido de la más alta en la más baja y de ésta en el túnel. En 1728, la rica mina de Quebradilla, en Zacatecas, se desaguó por medio de un tiro que costó 24 mil pesos, aunque pocos años después el nivel creciente de las aguas entorpeció las labores y obligó a sus propietarios a abandonarla de nuevo. Más espectacular fue la habilitación de la célebre y opulenta veta Vizcaína en Real del Monte. Tras algunas infructuosas y costosas tentativas de desaguarla por José Alejandro Bustamante Bustillo (quien perforó sin resultados un túnel de 1 200 varas en un lapso de nueve años, a partir de 1739), su rehabilitación fue debida a Pedro Romero de Terreros. Gracias a la perforación de un túnel bien calculado y tras varios años de labores, logró en 1762 ver correr el agua de la anegada veta. El costo de las operaciones de rehabilitación del complejo minero de esa zona alcanzó la exorbitante cifra de un millón de pesos, aunque las pingües ganancias obtenidas compensaron de sobra dicho gasto. Pocos años más tarde, entre 1771 y 1780, en el Real de Bolaños, Antonio de Bibanco arriesgando fuertes sumas logró desaguar por medio de dos tiros profundos, sagazmente calculados y practicados, cinco de las minas situadas sobre la misma riquísima veta. Ésta fue una de las más redituables operaciones de rehabilitación de un mina durante el siglo xviii. Aparte de la precisión técnica que requería dicho tipo de labores, los empresarios debían soportar los fuertes gastos que les originaban, a veces durante mucho tiempo. El canal subterráneo que José Vicente de Anza realizó en Tehuilotepic tardó 12 años en ser perforado y alcanzó únicamente 477 varas de longitud. Más costeable en su fase inicial y menos riesgosa resultaba la operación de desaguar por medio de malacates. Los mineros de la Nueva España se inclinaron casi siempre por esta solución, en lugar de recurrir a la perforación de un socavón, que además de costoso era incierto en sus resultados. A lo largo de los años, los mineros se las ingeniaron para que sus malacates tuvieran cada vez mayor capacidad de desagüe. Conocían bien los costos de operación (construcción y mantenimiento de los aparatos, sacos de cuero, cuerdas, forraje de mulas y caballos) y la eficiencia que podían lograr con sus equipos. El perfeccionamiento técnico que realizaron en aparatos tan rudimentarios les permitía calcular tiempos, movimientos y eficiencia, incluso por hora trabajada. Esto les permitía afinar sus costos con

cierta precisión. Asimismo, conocían bien la eficiencia de los animales que les servían de fuerza motriz y el volumen de agua que eran capaces de extraer. Y lo que decimos del malacate es también aplicable al uso de cigüeñas y de cierto tipo de norias. El número de operarios que laboraban en malacates era aproximadamente una tercera parte del que trabajaba en cigüeñas, ya que, en estas últimas, ciertas operaciones no estaban mecanizadas y habían de ser realizadas a mano. El método combinado de malacate y norias movidas por caballos era costeable porque reducía considerablemente el número de operaciones y sus resultados eran similares al empleo de malacates únicamente.

El uso del malacate en las minas de la Nueva España data probablemente del último tercio del siglo xvi, aunque no cabe descartar de antemano que haya sido introducido desde los decenios anteriores. En Zacatecas ya se utilizaba este tipo de aparatos en los primeros años del siglo xvii. Asimismo, se intentó combinar —parece que con buenos resultados— el uso de malacates con el de bombas y norias. En la mina conocida como El Terno se instaló, en 1609, una bomba, y en la denominada La Palmilla de la Veta Grande, también en Zacatecas, existían nueve bombas en operación pocos años después. En 1625, en esa misma mina, existía una bomba que extraía agua desde cierta profundidad. Se movía mediante esclavos negros y, aunque su diseño nos es desconocido, es probable que no variase demasiado de los modelos europeos de las minas húngaras o tirolesas. Hacia fines del siglo xvii, el infatigable Gemelli Carreri vio en funcionamiento en la mina de La Trinidad, en Pachuca, 16 malacates que extraían tanto el mineral como el agua. Cien años más tarde, el conde de Regla mantenía 28 malacates en operación en la veta Vizcaína. Su costo había sido de 250 mil pesos.

Lo rudimentario de los métodos de desagüe de minas fue, a todo lo largo de la Colonia, un efectivo acicate para que los peritos hispanoamericanos con conocimientos de ingeniería hidráulica aguzaran su ingenio inventivo para crear máquinas que superaran a las antiguas en eficiencia. En 1768, el científico mexicano José Antonio Alzate reconocía que habían existido empeñosas tentativas de solucionar, por medio de un eficaz invento mecánico, el problema del desagüe que aquejaba a la minería de su país. De hecho, la idea de utilizar dispositivos técnicos con ese fin no era cosa nueva en las colonias españolas. La tradición ibérica que llegó a América era rica en ese sentido, puesto que desde fines de la Edad Media se habían inventado, en las regiones mineras peninsulares, varios aparatos y máquinas para elevar el agua. La

tradición de la ingeniería hidráulica musulmana tuvo sin duda mucho que ver en ello. Así, en 1583 Bartolomé de Gálvez, minero del distrito de Temascaltepec, en la Nueva España, inventó un ingenio para expelel el agua de las minas y, en 1618, Juan de Losada experimentó con buen éxito en la mina de La Concepción de Taxco un “artificio” de desagüe que no sólo permitía extraer el agua, sino que también mantenía permanentemente seca la mina. Algunos de estos aparatos resultaban de eficiencia comprobada, como fue el caso de los que se instalaron en Real del Monte, en la mina de Santa Cruz, en 1730, por Joseph de Castañeda. Uno de esos inventos logró bajar, en 11 horas, 12 varas de agua, lo que, según el autor de la noticia, apenas podía ser ejecutado por 10 malacates en operación simultánea. Lamentablemente no conocemos el diseño de dicho “artificio”. Pocos meses después, en enero de 1731, se experimentó en Pachuca, en la mina de San Antonio, con dos aparatos que también resultaron de gran capacidad cuando se les comparó con los malacates, ya que, según testigos convocados al efecto, los inventos mecánicos lograron extraer cinco veces más agua que dos malacates en un lapso de tiempo igual. Tampoco se excluyó la importación de bombas de desagüe. Alrededor de 1716, el banquero Isidro Rodríguez de la Madrid intentó desaguar sus minas en Pachuca por medio de bombas traídas de Inglaterra con un costo de 100 mil pesos, pero resultaron infructuosas. En suma, sean de origen local o importadas, los mineros coloniales no fueron ajenos al empleo de máquinas de desagüe, y si persistieron en los métodos ancestrales, se debió a la desconfianza que les inspiraban las innovaciones en áreas que tradicionalmente les parecieron más del dominio de la realización empírica que de la ciencia especulativa.

La resistencia a la adopción de métodos y técnicas modernas partían de la confianza casi ilimitada, aunque en la mayoría de los casos inconsciente, en los postulados de la ciencia antigua. Era una forma de tradicionalismo científico que se apoyaba en los buenos resultados prácticos obtenidos para dejar de lado los nuevos descubrimientos que iban a revolucionar las técnicas industriales como nunca antes se había hecho. Sus autores más socorridos seguían siendo, en ese campo de la técnica, Herón, Pappo, Filón, Arquímedes y Vitrubio, entre los antiguos, y Agrícola, Ramelli, Juanelo y Besson, entre los modernos, los cuales eran, en la mayoría de los casos, únicamente comentaristas e ilustradores de aquéllos. El caso de Agrícola, uno de los autores más socorridos por los técnicos en las labores de la ingeniería de minas, es de los

que mejor nos ilustran en ese sentido. Sus principios mecánicos son muy antiguos y están tomados de Ctesibio, Arquímedes y Vitrubio. Este último autor, en su famosa obra *De architectura*, describe la célebre bomba de Ctesibio que fue concebida de varias maneras por los grabadores e ilustradores de su obra, la cual tuvo amplia difusión en los siglos xv, xvi y xvii y fue la base de varios libros sobre hidráulica escritos en esa época. La obra de Ramelli, bello tratado de máquinas y aparatos de toda índole que data también del siglo xvi, dedica las 110 primeras láminas (más de la mitad de todo el libro) a los métodos de bombeo y elevación de agua que, como en el caso de la obra de Agrícola, son variantes de los métodos grecorromanos. De las obras españolas de hidráulica de esa época, la más célebre es sin duda la de Juanelo Turriano, ingeniero de Carlos V, quien por medio de su famoso "artificio" logró elevar las aguas del Tajo. Su obra, sin embargo, permaneció inédita. En suma, al recorrer los aparatos y máquinas que de una u otra manera fueron empleados en el desagüe de las minas coloniales, no hacemos sino dar constancia de la supervivencia de la ciencia antigua a través de este aspecto de la técnica minera. El cuestionamiento de la eficacia de estos métodos en la segunda mitad del siglo xviii será, entonces, un síntoma de que los nuevos conceptos mecanicistas de la ciencia habían penetrado en las colonias hispánicas e imponían una nueva manera de concebir dichas técnicas, no sólo en la minería, sino también en la agricultura y en la industria. La crítica de las tecnologías ancestrales fue aquí, como en otras partes del globo, una de las formas en que se manifestaron la Ilustración y la modernidad científica. Si sus efectos no fueron muy grandes, se debió a la magnitud de la resistencia que se les opuso, no sólo en México, sino también en el Perú, y en general en todas las colonias hispánicas.

2. LAS TÉCNICAS DE BENEFICIO DE LOS METALES

Habían transcurrido unos cuantos años de la caída de los imperios azteca e inca cuando comenzaron a explotarse en forma sistemática los yacimientos metalíferos que los españoles habían descubierto por sí mismos o a través de los informes de los indígenas. En México se emplearon, en un principio, los métodos de explotación utilizados por los indios, los cuales habían llegado a un grado avanzado de tecnología. Las operaciones se basaban en la solubilidad de la plata en el plomo

fundido y en la progresiva eliminación de este último metal por oxidación al entrar en contacto con el aire. Toda esta labor se llevaba a cabo en pequeños hornos perforados y calentados con leña o con carbón vegetal. En cuanto al Perú, la explotación de los primeros yacimientos de Porco y Potosí se hizo siguiendo el antiguo método autóctono de fundición. Pocos años después fue adaptado en ambos virreinos el viejo método europeo de molienda y fundición, cuyos rendimientos no eran altos y requería, además, de volúmenes considerables de combustible.

Este método, que fue el utilizado en el siglo XVI por los principales reales mineros argentíferos de la América española, consistía en un proceso inicial de trituración del mineral por medio de un molino de pilones hasta obtener fragmentos de tamaño reducido. Se introducía entonces en hornos para eliminar el azufre de los sulfuros metálicos. Se mezclaba con litargirio, o sea óxido de plomo, y diversos tipos de catalizadores minerales. Procedía después a fundirse en una gran fragua, diseñada de acuerdo con las necesidades de cada real minero y el contenido de plata del mineral. El proceso duraba unas 24 horas, por lo que se obtenía el metal con gran rapidez. En 1802, el metalurgista novohispano José Garcés y Eguía introdujo una variante en el proceso: le añadió el llamado "tequesquite", con lo que el rendimiento subía sensiblemente. Sin embargo, el método de fundición siempre fue costoso e ineficiente, pues el consumo de combustible vegetal era alto y el rendimiento de plata era reducido. Un real minero que utilizara este procedimiento pronto veía su entorno deforestado, y tenía que traer la leña para los hornos a veces desde grandes distancias.

Muy diferente hubiera sido la historia de la explotación de metales preciosos en el Nuevo Mundo de haberse circunscrito las técnicas de producción a esos rudimentarios métodos. Pero gracias a uno de los más afortunados descubrimientos de la historia de la tecnología fue introducido y adoptado, primero en México en 1556 y después en otros lugares de la América española, el método llamado de amalgamación descubierto por el sevillano Bartolomé de Medina y perfeccionado poco después por su colaborador Gaspar Loman. Su invento no sólo permitía beneficiar con buenos rendimientos el metal puro de plata, sino también las combinaciones de esta última. Consistía fundamentalmente en mezclar la mena molida y húmeda con sal y mercurio en presencia de piritas de cobre calcinadas que actuaban como catalizador, con lo que se obtenía una amalgama de plata que se disociaba por calentamiento. El ahorro en combustible era notorio, aunque el proce-

so duraba de dos semanas a dos meses, según las condiciones ambientales. Este método permaneció vigente hasta mediados del siglo XIX. No obstante, debemos señalar que a principios del siglo XVII el español Álvaro Alonso Barba perfeccionó en Perú el procedimiento descubierto por Medina, ya que propuso con éxito que se realizara la amalgama en caliente dentro de calderas de cobre, lo que se conoció como método de *cazo y cocimiento*.

El método de amalgamación o de patio, como también se le conoce, fue sujeto, no obstante su rentabilidad, a una serie de críticas a finales del siglo XVIII. En las dos últimas décadas la Corona española intentó cambiar, reformar o mejorar esa técnica practicada hacía más de dos siglos, para lo cual emitió y propuso diversas medidas. Entre todas ellas ocupó un lugar relevante el proyecto de enviar cuatro grupos de técnicos y beneficiadores alemanes a México, Nueva Granada, Perú y Chile, con el fin de que introdujeran en esas regiones las nuevas técnicas europeas de beneficio. Finalmente esos cuatro grupos se redujeron a dos: el primero iría a México encabezado por Fausto de Elhúyar y el segundo visitaría Nueva Granada, Perú y Chile dirigido por Timoteo de Nordenflycht. Además de introducir las técnicas químico-metalúrgicas más avanzadas, esos dos contingentes deberían ayudar a los mineros americanos a explotar sus minas en forma más apropiada, principalmente en los aspectos de la ingeniería minera en los que se encontraban más atrasados, es decir, los de la geometría subterránea y del desagüe de las minas.

Sin embargo, era el aspecto químico-metalúrgico el que más atraía la atención de los técnicos que se dirigieron a la Nueva España ya que, a partir de la publicación en 1786 de la obra metalúrgica del barón Ignaz von Börn, estos peritos, incluido Elhúyar, consideraron seriamente la posibilidad de introducir su método de beneficio en las minas argentíferas de México. En ese año Elhúyar afirmó que los resultados alcanzados por las técnicas de amalgamación propuestas por Börn mostraban un considerable ahorro de mercurio a la vez que acortaban notablemente el tiempo del proceso de beneficio empleado en América, todo lo cual reducía sensiblemente los costos de operación. A todo ello venía a sumarse el hecho de que el método de "patio" era visto como un procedimiento imperfecto de beneficio, ya que se perdían grandes cantidades de plata, lo cual podía impedirse con una técnica más moderna y precisa en sus operaciones como era la de Börn, que inclusive permitía beneficiar menas de baja ley.

A fin de llevar a efecto ese vasto plan de reformas técnicas que se concebían como aplicables a toda la producción de metales preciosos de Hispanoamérica, llegaron a Veracruz en 1788 once técnicos sajones, entre los que se encontraban los metalurgistas Federico Sonneschmidt, Francisco Fischer y Luis Lindner. De inmediato se trasladaron a la ciudad de México donde Elhúyar les asignó los distritos mineros en los cuales laborarían, y que eran los de Guanajuato, Zacatecas y Taxco.

La técnica de beneficio de Börn que los expertos alemanes iban a tratar de introducir en las minas mexicanas y peruanas había probado su efectividad en los yacimientos argentíferos alemanes. El proceso tenía bastantes ventajas sobre el tradicional método de amalgamación conocido como de "patio", sobre todo en lo referente al tiempo de operación y al ahorro de mercurio, pues este último procedimiento tomaba de cinco semanas a dos meses, según las condiciones de humedad y temperatura ambientales, mientras que el de Börn tardaba entre dos horas y media y cuatro horas para la amalgamación, además de que rendía más plata y permitía recuperar mayor cantidad de azogue.

En realidad, este método no resultaba tan novedoso como se pretendía ya que, como Elhúyar lo había observado en 1787 y otros autores lo harían después, no era sino una variante perfeccionada del llamado método de *cazo y cocimiento*, inventado por Álvaro Alonso Barba hacía más de 150 años y practicado habitualmente en el Perú. El procedimiento expuesto por Börn era el siguiente: se tostaba previamente la mena, pulverizada con sal, en un horno de reverbero; a continuación se introducía la masa resultante en un tonel de madera, donde se le añadían el azogue, una gran cantidad de agua y pequeñas limaduras de hierro. El tonel de madera se hacía girar horizontalmente conectado en serie con otros toneles movidos, por lo general, por fuerza hidráulica. Al finalizar la operación se separaba la amalgama y se destilaba el azogue para obtener la plata. La sencillez del proceso y su conveniencia desde el punto de vista económico resultaban obvios, pero los resultados obtenidos en las minas mexicanas por los técnicos alemanes fueron prácticamente nulos.

Varias fueron las causas que concurrieron a hacer que el método de Börn no lograra aclimatarse en tierras novohispanas, siendo las principales la carencia de combustible suficiente para llevar a cabo la primera fase del proceso, o sea la calcinación de los minerales pulverizados, y la falta de fuerza motriz efectiva y constante que permitiese mover todos los toneles necesarios para las grandes masas de mineral sacado a

la superficie. Humboldt, quien ponderó largamente los logros y fracasos de los técnicos germanos, afirmó que el método de Börn, adecuado para los volúmenes extraídos de las minas de Freiberg, era inoperante en México, donde dichos volúmenes eran considerablemente mayores, lo que hacía imposible contar con los toneles necesarios para procesarlos y con la fuerza motriz para moverlos. A todo ello había que añadir la tradicional resistencia de los mineros mexicanos a cualquier tipo de innovación tecnológica. Tanto Sonneschmidt como Elhúyar, quienes lucharon afanosamente por introducir en Sombrerete el método de Börn, comprendieron que las condiciones de la minería mexicana hacían más apto para el beneficio el método tradicional de “patio”, pues sus costos de operación eran sustancialmente menores, no requería fuerza hidráulica permanente ni complicada maquinaria, podía prescindir de expertos y técnicos ya que operaba empíricamente según viejas fórmulas y, además, contra lo que se había pensado, servía para beneficiar menas con bajo contenido argentífero. En suma, como Elhúyar afirmó en diciembre de 1792 rectificando su anterior parecer, el método tradicional de amalgamación era el más apropiado para las minas mexicanas por su “sencillez, economía y exactitud”. Por otra parte, en las minas sudamericanas visitadas por la expedición de Nordenflycht los resultados no fueron mejores. El tradicional método de *cazo* de Barba siguió utilizándose sin variaciones.

3. LOS TRATADOS DE METALURGIA

No fueron pocos los hombres de ciencia que durante la dominación española intentaron sistematizar las técnicas de los procesos metalúrgicos, desde los problemas de la ingeniería de minas —recordemos el caso excepcional del tratado de José Sáenz de Escobar— hasta los métodos químicos de beneficio. Su número es un claro índice de la importancia de esa rama de la industria extractiva para la economía americana y peninsular.

A lo largo del siglo xvi los principales innovadores dejaron algunos breves textos manuscritos acerca de los procesos que habían descubierto. Así, de Bartolomé de Medina y de su colega el alemán Gaspar Loman nos restan algunos testimonios que dan fe de que, “sin más arte que haber oído decir en España que con azogue y sal común se podía sacar plata de los metales”, iniciaron el proceso de amalgamación en

México. Del Perú poseemos los testimonios de Enrique Garcés, procedente de Portugal y que conocía bien las minas de mercurio de Almadén, quien identificó el cinabrio y descubrió los yacimientos argentíferos peruanos de Paldas, cercanos a Huamanga. Con él se inicia la explotación sistemática de las minas peruanas con base en el método de patio; al tiempo que Amador de Cabrera descubría hacia 1564 las ricas minas de azogue de Huancavelica. Del introductor del beneficio de patio en Potosí, Pedro Fernández de Velasco, también nos restan escasas noticias acerca de sus procedimientos metalúrgicos; y lo mismo podemos decir de Juan Capellín, minero de Taxco, quien en 1576 inventó la capellina para utilizarla en la destilación de la amalgama. De ninguno de estos mineros aparecieron textos impresos que hubieran facilitado la difusión de sus hallazgos. Esto explica la lentitud con que los mismos se difundieron por las colonias hispánicas.

De hecho, los mineros, metalurgistas e ingenieros que trabajaron en América en el siglo XVI sólo disponían de los textos europeos sobre la materia, tales como el *De la pirotechnia* (1540) de Vanoccio Biringuccio, el *De re metallica* (1556) de Georgius Agricola, el *Tratado y descripción de las principales vetas metálicas y de minerales* (1574) de Lazarus Ercker y el *De re metallica* (1569) de Bernardo Pérez de Vargas. Hubo que esperar hasta 1640 para que se publicara el primer tratado sistemático sobre la minería americana: el *Arte de los metales*, del presbítero andaluz radicado en Perú Álvaro Alonso Barba. Este metalurgista, cuya obra habría de ejercer gran influencia a lo largo de 200 años, inició sus experiencias y observaciones en las minas de Lipes, hacia 1590, y las amplió en Potosí y Charcas. La novedad de su obra radica en que explica cómo tratar el mineral de plata, sea nativa o en sales, en casos de cobre con solución de sal común. El cobre sirve de catalizador y de reactivo, transformando las sales de plata, sean cloruros, yoduros o bromuros, en sales de cobre, y liberando así la plata que es absorbida por el mercurio formando la amalgama. El rendimiento de plata subía notablemente con reducción en la pérdida de azogue. Barba narra cómo descubrió en 1609 este método cuando se hallaba en Charcas donde, a falta de un cazo de hierro, se vio obligado a utilizar en sus experimentos uno de cobre, con lo que desencadenó las reacciones antes descritas. A partir de entonces y durante más de veinte años lo perfeccionó en sucesivas experiencias en los reales mineros que visitaba, “comunicándolo públicamente —nos dice— sin hacer misterio de reservar para mí solo este ni otros secretos”.

El método de Barba era aplicable sólo cuando las menas de plata estaban compuestas de las sales antes mencionadas, pero debía ser modificado si la plata estaba mezclada con azufre, arsénico o antimonio. Diversos tratadistas del siglo xvii, tales como Juan de Oñate, Luis Berrio de Montalvo, Juan Correa y Hernando Bezerra, se consagraron a estudiar esos aspectos de los procesos químicos no estudiados por Barba. Influídas por las doctrinas herméticas y por las teorías de Paracelso, estas obras poseen un fuerte tono alquimista. Son escritos que pretendían dilucidar las funciones del mercurio, sus virtudes y cualidades.

Ya en el siglo xviii aparecen impresas y logran cierta difusión las obras de Ordóñez de Montalvo y Juan Manuel de Orozco, pero sobre todo, la del peruano Lorenzo de la Torre, que data de 1738 y que revolucionó hasta cierto punto el método tradicional al introducir el empleo de la caparrosa. También debemos mencionar los capítulos dedicados a la metalurgia en la obra histórica dedicada a Chile de Juan Ignacio de Molina o en las muy difundidas *Noticias americanas* de Antonio de Ulloa.

La Nueva España produjo durante la segunda mitad del siglo xviii a un buen número de notables tratadistas que se abocaron al estudio de los problemas de la metalurgia de la plata y al análisis de los procesos químicos del beneficio de patio. Entre ellos mencionaremos a Moreno Castro, Sarría, Sonneschmidt, Del Río y Elhúyar. Sin embargo, a efecto de conocer todos los aspectos de la minería colonial hispanoamericana y no sólo de la mexicana, conviene que analicemos con cierto detalle las obras de otros tres teóricos de la minería: Francisco Xavier Alexo de Orrio, Francisco Xavier de Gamboa y José Antonio Ribera Sánchez. Cada uno de los textos redactados por ellos aborda uno o varios problemas de la minería colonial, desde los procesos químicos hasta las repercusiones económicas, incluidos los proyectos de reforma basados en las teorías de Börn antes mencionadas. De esos tres autores sólo Gamboa vio su obra impresa; las de Orrio y Ribera permanecen manuscritas.

Es indudable que uno de los caminos que llevó a los científicos mexicanos al estudio de la química moderna fue el de los estudios metalúrgicos que se proponían exponer los fundamentos teóricos del proceso de amalgamación. Dentro de éstos ocupa un lugar relevante la obra de Orrio titulada *Metalogía o physica de los metales*, que data de mediados del siglo xviii. Se trata de un denso y prolijo tratado de química, física, geología y metalurgia, elaborado teniendo como apoyo tanto las obras

de química o física más avanzadas en esa época, como las propias experiencias del autor. Sus propósitos nos los dio él mismo al iniciar su disertación, donde se asombra del poco adelanto que habían tenido los procedimientos de la metalurgia en España y en México; cuya causa era, según él, la falta de cultivo de la química experimental por parte de los entendidos, que habían dejado tan delicado asunto en manos de individuos poco capaces quienes, no obstante los obstáculos y gracias a su empeño, lograron mantener en explotación las minas argentíferas del Nuevo Mundo, aunque sea utilizando un procedimiento que ya tenía 200 años de antigüedad. Sus conclusiones y las propuestas que hizo resultaban novedosas para el momento en que fueron escritas:

¿Qué progresos no debemos prometernos si los ingenios más ilustrados aplican su atención y empeño a cultivar esta noble parte de la *Physica Experimentalis*? No es dificultoso de creer que en pocos años de aplicación podrá prometerse el fin adecuado que se investiga, o por lo menos un establecimiento que sirva de pauta general para todos los que se inclinan al ejercicio de la Metalogía. Para esto nos hemos propuesto por objeto de la obra señalar los principios más sólidos de la sana *Physica* pertenecientes a su inteligencia. Hemos agregado un buen número de experimentos, que aunque se ejecutaron con otros fines diversos, quedan contraídos útilmente al asunto de extraer la plata. No hemos omitido el agregar los que modernamente han hallado los profesores, a que ha contribuido también en algún modo nuestra aplicación informándonos ocularmente de ellos, replicando y proponiendo dudas sobre los mismos, examinando privadamente si correspondían o no los efectos; y finalmente añadiendo de nuevo algunos que han parecido necesarios para proceder con menor desconfianza en un camino donde se anda a ojos cerrados.

A continuación Alexo de Orrio se extiende en un largo elogio de la química experimental moderna, de la cual afirma que es “la más delectable que puede recompensar las melancolías de un estudio retirado; la más noble que puede divertir a un político en las asambleas de su gabinete”. Rechaza la “ciencia congetural”, discursiva, practicada por los escolásticos y se adhiere a las nuevas tendencias dispuestas a criticar y examinar los sistemas tradicionales, que han sido aceptados, afirma, por estar apoyados en alguna autoridad venerable y respetada o por algún cuerpo académico, lo que ha resultado “muy pernicioso al adelantamiento de las ciencias”. Condena las falsas experiencias, realizadas por “ingenios peregrinos”, que en sus gabinetes de química, equipados

de alambiques y hornos, dañan el avance de la química al querer encontrar soluciones universales a problemas que no los tienen. Apoyado en las experiencias de Boyle, Newton, Hoffman, van Helmont, Paracelso, Barba, Gassendi, Descartes, Gilbert, Lemery, Geoffroy, Nollet, Reaumur y Musschembroeck, este químico ilustrado aborda el agudo problema de las afinidades entre las diversas sustancias. En este sentido, su obra resulta ser un intento de explicar, de acuerdo con las diversas teorías físicas modernas, el problema de las combinaciones químicas y de las leyes que las rigen. Orrio abandona el criterio de “simpatía y antipatía” y analiza las diversas tesis modernas acerca de la afinidad entre los cuerpos. Para ello no duda en recurrir a las leyes newtonianas acerca de la atracción, haciendo de paso un elogio de su descubridor en los siguientes términos:

La *Physica Newtoniana*, que podemos llamar inglesa, tanto por su célebre inventor Isaac Newton, como por la universal aceptación que ha tenido en aquella nación cultísima, parece a primera vista que pudiera desempeñarnos en algunas dificultades que ocurrirán acerca de la Atracción, que es su base, principio y fundamento; pero aunque tal vez echemos mano de ella, será sin embarzarnos en sus cálculos ni en su delicada Geometría.

Con detenimiento Orrio analiza los aspectos geológicos de la minería, es decir, la formación de las vetas, los efectos del agua en la erosión y de los ríos en el depósito de sedimentos y capas. Lejano todavía de la pugna entre neptunistas y vulcanistas, estudia la formación de los estratos de acuerdo con las antiguas teorías de Agrícola, Barba, Kircher, Schott o de su contemporáneo Torrubia. Sus frecuentes visitas a los reales de minas de la Nueva España (en uno de los cuales redactó su tratado) le permitieron emitir algunas hipótesis acerca del origen de las vetas metálicas, formadas según él a partir de ríos subterráneos que arrastraban partículas de diferente peso, lo que favorecía que las de metal quedasen agrupadas en largos estratos bien diferenciados y debajo de capas de material más ligero. Las experiencias de laboratorio que realizó con diversos metales lo condujeron a explicar la calcinación de acuerdo con la teoría del flogisto. Realizó experiencias con plata, cobre, estaño, plomo, hierro y mercurio, a los cuales sometió a un proceso de calentamiento para observar sus propiedades a medida que se elevaba la temperatura hasta llegar a la calcinación. Apoyado en las experiencias termométricas de Reaumur y siguiendo su sistema de me-

dición, observó las propiedades que poseían los diferentes metales a una misma temperatura: sus cualidades magnéticas y eléctricas, su volumen y el grado de calor que era necesario suministrarle a cada uno de ellos para llegar a la misma temperatura. Estudió las causas que atribuían la unión de la plata y el mercurio, en el proceso de amalgamación, a la “simpatía” existente entre ambos y las desechó por absurdas, inclinándose a explicar ese fenómeno por una simple atracción de carácter magnético y eléctrico. Estudió el efecto catalítico de la temperatura en el proceso de amalgamación, lo que le permitió analizar, tomando como referencia al azogue, el fenómeno de la licuefacción de los metales y las diversas temperaturas críticas a las que este fenómeno ocurría, y atribuyó el fenómeno de la congelación a la pérdida de calor. Hizo experiencias acerca de la dilatación y la “compresión” de los metales y los relacionó con la plata y el mercurio en el proceso de amalgamación, con el objeto de determinar las condiciones óptimas de temperatura y volumen en que debían mezclarse ambos en dicho proceso.

Estudió, además, siguiendo a Boyle, la noción de elemento, y se adhirió al sistema de afinidades químicas establecido en 1704 por Etienne-François Geoffroy en su célebre *Tabla de afinidades químicas*, para poder clasificar los diversos metales a los cuales había sometido a procesos de calcinación y a otras muchas reacciones. Esto le permitió explicar la combinación de la plata, el azogue y la sal en términos de “reacción química” y no de “simpatía” o “antipatía”. El análisis que hizo del proceso de amalgamación, aunque a veces influido todavía por conceptos tomados de la alquimia, es novedoso e incluso, en ciertos casos, moderno. Su celo en fijar las mejores condiciones para llevarlo a cabo y sus experiencias como metalurgista lo condujeron a indagar acerca de los posibles yacimientos de mercurio existentes en el virreinato mexicano. Determinó la forma mineral en que el azogue podía encontrarse en las vetas y concluyó que los yacimientos existentes cerca de Zacatecas sí eran explotables, y si no lo habían sido hasta entonces, era debido a la prohibición dictada por la Corona con el fin de proteger el monopolio estatal. En suma, pocos son los aspectos teóricos y prácticos de la química de los metales que Orrio no tocó en este notable tratado, el cual por su forma de exposición y por su espíritu sistemático está tan lejos de los viejos tratados de alquimia como cerca de la química ilustrada moderna de la segunda mitad del siglo XVIII.

La segunda obra de la trilogía que describimos es la de Gamboa, autor varias veces mencionado en páginas anteriores. Su obra *Comenta-*

rios a las Ordenanzas de Minas data de 1761 y gozó de gran difusión en España y sus colonias, por ser un estudio amplio que analizaba prácticamente todos los problemas de la minería colonial: los jurídicos, los económicos y los tecnológicos. Estudiemos únicamente estos dos últimos aspectos.

Gamboa señaló que la minería mexicana atravesaba una grave crisis. Como solución propuso varias medidas, entre las cuales estaban: reducir el precio del mercurio monopolizado por el Estado español, eliminar las restricciones que impedían su explotación en la Nueva España y abrir otras casas de moneda fuera de la capital virreinal que facilitarían la acuñación de la plata proveniente de reales lejanos. Gamboa fue consciente, como muchos virreyes, científicos o mineros lo fueron antes y después de él, de que el producto clave de la economía de la Nueva España era el mercurio. A raíz del descubrimiento del procedimiento del beneficio de la plata por amalgamación, efectuada como ya dijimos a mediados del siglo *xvi* por Bartolomé de Medina, el azogue se convirtió en la condición de posibilidad de una minería floreciente. La Corona española captó desde sus orígenes la importancia estratégica del mercurio, de tal forma que por Real Cédula del 4 de marzo de 1559 lo puso bajo el control del Estado prohibiendo su exportación desde España a las Indias sin autorización. Además, los mineros indianos tenían prohibido comprarlo a otras fuentes abastecedoras que no fueran las autorizadas por la Corona. Este monopolio estatal del azogue protegía directamente a las minas españolas de Almadén, principal y no pocas veces único abastecedor de ese vital ingrediente de la metalurgia de la plata. En sus *Comentarios*, Gamboa hizo una recapitulación histórica del abasto de mercurio de Almadén a México y al Perú desde el siglo *xvi* y de todas las medidas gubernamentales dictadas para lograr un suministro satisfactorio. Esto le permitió señalar las grandes deficiencias del sistema ya que el envío del azogue apenas cubría en épocas de bonanza la mitad del requerido por las minas, lo que originaba que muchas de ellas se detuvieran en sus operaciones o bien que recurrieran al oneroso sistema de fundición con la consiguiente baja en los rendimientos de plata. Para solucionar esta sensible deficiencia propuso tres medidas hasta cierto punto complementarias: hacer bajar el precio del mercurio, permitir la explotación de minas locales y facilitar la libre importación de donde mejor conviniera. Según Gamboa la Corona no deseaba bajar el precio del azogue ante todo porque obtenía una jugosa utilidad de su monopolio. Pero también la inclinaban a hacerlo

otros dos factores, uno de los cuales era que no creía que el descenso en el precio realmente fuera un incentivo para los mineros; y el otro, que dudaba que la venta de un mercurio barato diera como resultado una mayor recaudación fiscal a mediano plazo. Los argumentos a favor de una u otra postura menudearon durante la primera mitad del siglo XVIII y Gamboa dio cumplida cuenta de todos ellos. Sin embargo, nunca fue fácil emitir una opinión que resultara concluyente a favor de reducir o no el precio del mercurio, ya que no era factible hacerse de datos estadísticos confiables acerca de la producción de plata o del volumen de impuestos recaudados, que permitieran señalar con cierta objetividad cuál era el camino más apropiado. Con base en la información dispersa analizada críticamente y apoyado en informes elaborados principalmente por expertos novohispanos en el tema, Gamboa decidió que lo más conveniente era bajar el precio, lo que según él permitiría explotar minas de baja ley, y beneficiar así a los mineros que las trabajaran. Opinaba que a pesar de que el abasto del mercurio era insuficiente, con la crisis de la minería el descenso en el consumo del azogue era inevitable lo que provocaría que aparecieran excedentes no consumidos por las pocas minas que operaban. Evidentemente esto haría descender las rentas del monopolio de la Corona. Como se vio pocos años después, cuando el Estado español decidió abaratar el precio los resultados fueron positivos.

Al hacer el bosquejo de la legislación minera, Gamboa afirmó que la Corona española siempre había desalentado en México la explotación de las minas de mercurio. Sostenía que el gobierno de la península había actuado así para proteger su monopolio, ya que la producción local había dañado la recaudación hacendaria debido a la dificultad para controlar la venta del producto. Además, le parecía lógico que la Corona impidiera la explotación de yacimientos de los cuales tendría un control relativo, con el consiguiente fraude fiscal en relación con la verdadera cantidad de plata beneficiada, pues podría declararse una producción de azogue inferior a la real, y por consiguiente, un volumen de plata menor que el verdaderamente obtenido.

La conclusión de Gamboa era incuestionable: las restricciones de la monarquía no sólo habían impedido hacer florecer una industria como la plata hasta los niveles que hubiera podido alcanzar con una visión más realista de la economía, sino que esas medidas eran la causa indirecta del abatimiento en que se encontraba en la Nueva España dicha industria. Como ya dijimos, la única solución posible era, por un lado,

permitir la libre explotación del azogue por inversionistas novohispanos que quisieran arriesgar sus capitales en esas empresas, y por el otro, no poner obstáculos a la importación del mercurio. Todas estas propuestas tendientes a liberar a la industria metalúrgica novohispana se complementarían, aseguraba Gamboa, con un conjunto de medidas de descentralización administrativa, de las cuales la principal era la creación en México de otra Casa de Moneda en Guadalajara o en Zacatecas, es decir en algún punto del interior del virreinato cercano a reales mineros en operación. De esta forma se atacaban dos problemas simultáneamente: el del retardo en la acuñación que sufría la plata obtenida en minas distantes de la capital y el de la escasez de circulante, mal crónico al que se enfrentó siempre el comercio de la Nueva España.

En cuanto a la faceta tecnológica de los *Comentarios* de Gamboa, resultó evidente, desde su aparición, su utilidad práctica como manual de técnica minera. Ingenieros y metalurgistas de minas de toda la América española fueron los primeros en apreciar su valor, ya que aquí Gamboa se alejó del simple comentario a las ordenanzas y elaboró todo un tratado de minería y del beneficio de los minerales principalmente de plata. Los temas básicos que abordó pueden englobarse en dos secciones: la referente a la ingeniería de minas y la concerniente a la metalurgia de metales preciosos.

Para realizar este trabajo Gamboa recogió todo el material científico y técnico que pudo e hizo un resumen del mismo. Científicamente es una obra erudita, pero no sólo eso. Una lectura de los pasajes tecnológicos nos permite ver que su autor tuvo experiencias directas de los asuntos que trata, es decir, se deduce que visitó reales mineros en operación e incluso abandonados para comprender el complejo tema que iba a exponer. Sus conocimientos sobre este asunto no fueron, entonces, solamente librescos. Algunas de sus consideraciones sobre los procedimientos químicos del beneficio y sus variantes solamente pudieron ser aprendidas en los grandes patios de los reales o en los hornos de fundición. Sólo alguien que haya penetrado en una mina puede hacer una descripción tan viva de ellas como la que hizo Gamboa en el capítulo XXIV de su obra, al punto de que merece ser transcrita:

Son éstas unas cavernas húmedas, sofocadas, oscuras, y no se alienta en ellas sino el vapor nocivo; los riesgos de la vida en el ascenso, descenso y derrumbamiento, amedrentan; desnudos y erizados los operarios, y cargados de pesadas barras y metales; frecuentes las enfermedades y la corrup-

ción; venenosas las fundiciones y las azoquerías; incurables y a cada paso las dolencias entre humedades, fuego y vapores. Hace todo las penas de un infierno, según la grave descripción de Plauto, que aun pone por más excesivas las penas y duros trabajos de las minas. Las que han servido de castigo a los esclavos, de tormento a los mártires y de venganza a los tiranos.

En otro pasaje no carente de crudeza, de ironía y aun de cierto humor, Gamboa ha hecho otra pintura de la labor minera que sólo quien pudo palpar su dureza puede describir:

Para sacar los metales se expende gran trabajo y amenazan graves peligros, y por eso a los hombres perdidos impusieron las leyes esta pena, por ser continuo el ejercicio de la labor, continuos los precipicios y más peligrosas mientras más hondas las minas. Caen los respaldos y las piedras, que sofocan a muchos, son frecuentes los estrépitos y rayos, y hay autores que aseguran varios fantasmas, espectros y aun demonios que juegan y también afligen y hacen desamparar las minas, como son Olao Magno, Anania, Agrícola y Estéfano Theupolo, refiere Camilo Borrelo y también Feijoo; aunque dice que mal persuadirá esto a los *españoles americanos*, que nunca se han quejado de que los demonios los hayan obligado a desamparar las minas, antes entre tanto que esperan más abundancia de metal o mayor profundidad, con desprecio de diablos, cavan tanto, que parecen no temer encontrarlos ni en las cercanías del infierno; y en realidad no hemos oído que le hayan visto la cara al miedo los mineros y operarios, ni haber allí otro espíritu tentador que el de los hurtos, en medio de las fatigas, penalidades y trabajos que experimentan dentro de las minas.

Las fuentes escritas novohispanas con que Gamboa complementó su propia experiencia son de varios tipos. No es improbable que haya conocido algunos de los informes que en 1752 y 1753 rindieron buen número de propietarios de minas en operación al virrey conde de Revillagigedo, como respuesta a un cuestionario que éste les envió, y que pormenorizaba no sólo el estado que guardaba la explotación en esos reales, sino también las técnicas de perforación, ventilación, extracción, desagüe y beneficio que empleaban. Sus descripciones de minas así nos lo hacen suponer.

Para la amplia sección de geometría subterránea e ingeniería de minas se apoyó totalmente, como ya dijimos, en la obra manuscrita del abogado criollo José Sáenz de Escobar, descrita páginas atrás. En este sentido, esa parte de su texto carece de originalidad. En cambio, la lar-

ga sección que destinó a la metalurgia de la plata reviste gran interés por su novedad ya que Gamboa dio ahí, por vez primera, noticias de algunas prácticas químico-metalúrgicas que nunca habían sido dadas a conocer en su totalidad y que eran sólo del dominio de los beneficiadores empíricos. Señaló el valor que tenían algunos de sus antecesores en estos temas, principalmente las obras impresas de Barba y de Ordóñez de Montalvo, así como los textos que se conservan manuscritos del jesuita José de Zaragoza referentes a la posible explotación del azogue en las minas de Chilapa. Sin embargo, él fue el primero en percatarse que la síntesis que presentaba acerca de los métodos de beneficio no tenía precedentes. En efecto, Gamboa fue quien por primera vez describió en forma sistemática y bastante completa el beneficio de patio, tal como se practicaba a mediados del siglo XVIII, lo que para la historia de la ciencia resulta de gran interés ya que marca los avances realizados con respecto a las técnicas del XVI. Describió los métodos de molienda del mineral, las modalidades del beneficio en caliente ilustradas con diversos tipos de estufas y hornos. Dio noticia acerca de la original técnica denominada “beneficio de la barrilla” y de los recientes hallazgos del antes mencionado Lorenzo de la Torre acerca del uso de la “colpa”, o caparrosa, en sustitución del magistral cobrizo. Al estudiar el beneficio de patio, indicó las mejoras que se habían hecho en los métodos de molienda, así como la eliminación de espumas y lamas, y en el lavado de las tinas. Una muy interesante aportación es su descripción de la desazogadera o “capellina”.

Gamboa estaba convencido —al igual que varios eminentes metalurgistas, tales como Elhúyar o Sonneschmidt, lo estarían años después— de que las técnicas mexicanas de beneficio por amalgamación eran de las mejores del mundo y de que difícilmente podrían ser modificadas con ventaja con las innovaciones traídas del extranjero. Esta apreciación nos permite acercarnos al tercer y último texto minero del siglo XVIII, el de Ribera Sánchez, el cual exponía la única variante posible del método de Börn, que podía ser aceptada en México como una auténtica innovación al método tradicional que, como ya dejamos dicho, no pudo ser sustituido a pesar de los empeños de Elhúyar y de los técnicos alemanes que vinieron con él. La *Idea sucinta de metalurgia* data de 1792 y sirve de preámbulo teórico a la obra técnica de José Gil Barragán titulada *Nuevo descubrimiento de máquina y beneficio de metales por el de azogue*. En ella, Ribera propuso una interpretación química del proceso de amalgamación apoyado en la teoría de las afinidades

de metales como oro, plata, hierro, estaño y plomo con el mercurio. Además, explico la acción de la sal, el magistral, la ceniza y la cal en todo el procedimiento. Después dio noticia de la máquina inventada por Gil Barragán y mostró que los rendimientos de plata eran mayores que los logrados en el habitual método de patio. Esta máquina modificaba la propuesta de Börn. Consistía en un aparato de agitación continua a base de molinetes de rotación que podían trabajar en serie. El ahorro en azogue era notable. Esta máquina podía adaptarse a los requerimientos de la minería mexicana y era una combinación afortunada del método tradicional con el de Börn. Sin embargo, nunca prosperó, y hubo que esperar hasta el siglo XIX para que después de la independencia los inversionistas ingleses lo introdujeran en las minas de Real del Monte.

BIBLIOGRAFÍA

- Almagiá, R., "Christophe Colomb et la Science Moderne", en *Les Conséquences de la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb. Les Conférences del Palais de la Découverte. Histoire des sciences*, París, Universidad de París, 1951, pp. 3-12.
- Álvarez Brum, Félix, "José Eusebio de Llano Zapata", *Nueva Crónica*, 1 (1963) pp. 33-103.
- Alzate, José Antonio, *Gacetas de Literatura de México*, Puebla, Oficina del Hospital de San Pedro, 1831, 4 vols.
- Arboleda, Luis Carlos, "Acerca del problema de la difusión científica en la periferia: el caso de la física newtoniana en la Nueva Granada (1740-1820)", *Quipu*, vol. 4, núm. 1 (1987), pp. 7-30.
- Armas Chitty, J. A. de, *Guayanas: su tierra y su historia*, Caracas, Corporación Venezolana de Guayana, 1964.
- Ballesteros Beretta, Antonio, *Cristóbal Colón y el descubrimiento de América*, Barcelona, Buenos Aires, Salvat Editores, S.A., 1945, 2 vols.
- Bargalló, Modesto, *La minería y la metalurgia en la América española durante la época colonial*, México, Fondo de Cultura Económica, 1955.
- , *La amalgamación de los minerales de plata en Hispanoamérica colonial*, México, Compañía Fundidora de Fierro y Acero de Monterrey, 1969.
- Barreda y Laos, Felipe, *Vida intelectual del virreinato del Perú*, Lima, Imprenta de San Marcos, 1964.
- Bateman, Alfredo, "Caldas y Humboldt", *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas y Naturales*, Bogotá, vol. X, núm. 41 (1959), pp. 59-67.
- Cabieses, Fernando, "Introducción a la historia de la ciencia y la tecnología en el Perú", *Historia del Perú*, Lima, Juan Mejía Baca, 1980, T-X, pp. 127-240.
- Caldas, Francisco José de, *Obras completas*, Bogotá, Universidad Nacional de Colombia, 1966.
- Capel, Horacio et al., *Los ingenieros militares en España, siglo XVIII*, Barcelona, Cátedra de Geografía Humana, Universidad de Barcelona, 1983.

- Capel, Horacio, Joan Eugeni Sánchez y Omar Moncada, *De Palas a Minerva. La formación científica y la estructura institucional de los ingenieros militares en el siglo XVIII*, Barcelona-Madrid, Serbal-CSIC, 1988.
- Cárdenas de la Peña, Enrique, *Urdaneta y "el tornaviaje"*, México, Secretaría de Marina, 1965.
- Cardona, Nicolás de, *Descripciones geográficas e hidrográficas*, "Estudio Preliminar" de Pilar Hernández Aparicio, Madrid, Turner, 1990.
- Carracido, José R., *El P. José de Acosta y su importancia en la literatura científica española*, Madrid, 1899.
- Cartografía histórica de Venezuela, 1635-1946*, Caracas, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1946.
- Cavero-Eguzquiza, Ricardo, *La Amazonia peruana*, Lima, Torres Aguirre, 1941.
- Condarco, M. R., *Historia del saber y la ciencia en Bolivia*, La Paz, Academia Nacional de Ciencias, 1978.
- Cohen, I. Bernard, "The New World as a source of science for Europe", en *Actes du IX Congrès International d'Histoire des Sciences*, Barcelona, 1960, pp. 95-130.
- Colección de documentos inéditos relativos al descubrimiento, conquista y organización de las antiguas posesiones españolas de América y Oceanía*, Madrid, Imprenta de Frías y Compañía, 1864-1884.
- Cortés, Armando, "La découverte de l'Amérique et la science nautique", en *Les Conséquences de la découverte de l'Amérique par Christophe Colomb, Les Conférences du Palais de la Découverte. Histoire des Sciences*, París, Universidad de París, 1951, pp. 27-38.
- Cueto, Marcos, "La historia de la ciencia y la tecnología en el Perú: una aproximación bibliográfica", en *Quipu*, vol. 4, núm. 1, (1987), pp. 119-147.
- Cutter, Donald C., *California in 1792. A Spanish naval visit*, Norman and London, University of Oklahoma Press, 1990.
- Dainville, François de, *La géographie des humanistes*, París, Beauchesne, 1940.
- Daumas, Maurice, *Les instruments scientifiques au XVII^e et XVIII^e siècles*, París, PUF, 1953.
- Duviols, Jean-Paul, *L'Amérique espagnole vue et rêvée. Les livres de voyages de Christophe Colomb à Bougainville*, París, Editions Promodis, 1985.
- Engstrand, Iris H.W., *Spanish Scientists in the New World, The Eigh-*

- teenth-Century Expeditions*, Seattle and London, University of Washington Press, 1982.
- Esteve Barba, Francisco, *Cultura virreinal*, Barcelona-Madrid, Salvat Editores, S.A., 1965.
- Fernández de Navarrete, Martín, *Disertación sobre la historia de la náutica y de las ciencias matemáticas que han contribuido a sus progresos entre los españoles*, Madrid, Imprenta de la Viuda de Calero, 1846.
- , *Biblioteca marítima española*, Madrid, Viuda de Calero, 1851.
- Furlong, Guillermo, *Matemáticos argentinos durante la dominación hispánica*, Buenos Aires, Editorial Huarpes, 1945.
- Gamboa, Francisco Javier, *Comentarios a las Ordenanzas de Minas*, México, Díaz de León y White, 1874.
- García Franco, Salvador, *Historia del arte y ciencia de navegar*, Madrid, Instituto Histórico de Marina, 1947, 2 vols.
- García Méndez, Carlos, "Humboldt, el mar del Perú y la meteorología del Perú", en *Revista del Instituto de Geografía*, Lima, núm. 6 (1959-1960), pp. 89-92.
- Geisecke, A., "Magnetismo Terrestre en el Perú", en *Revista del Instituto de Geografía*, Lima, núm. 6, (1959-1960), pp. 93-97.
- Goez, Ramón Carlos, *Geografía de Colombia*, México, Fondo de Cultura Económica, 1947.
- González de Cosío, Francisco, *Historia de las obras públicas en México*, México, Secretaría de Obras Públicas, 1973.
- Gredilla, Federico, *Biografía de José Celestino Mutis*, Madrid, 1911.
- Grelier, Joseph, *Aux sources de l'Orenoque*, París, La Table Ronde, 1954.
- Groot, Jose Manuel, *Historia eclesiástica y civil de Nueva Granada*, Bogotá, Ministerio de Educación Nacional, 1956, 2 vols.
- Hagen, Victor W., *Pionniers des Amazones*, París, Hachette, 1950.
- Hanke, Lewis (ed.), *History of Latin American Civilization. Sources and Interpretations*, Londres, Methuen and Co Ltd, 1967, 2 vols.
- , *Readings in Latin American History*, Nueva York, Thomas Y. Crowell, 1966, 2 vols.
- Henríquez Ureña, Pedro, *Historia de la cultura en la América hispánica*, México, Fondo de Cultura Económica, 1955.
- Hernández Sánchez Barba, Mario, *Historia universal de América*, Madrid, Guadarrama, 1963, 2 vols.

- Howe, Walter, *The minning guild of New Spain and its Tribunal General, 1770-1821*, Nueva York, Greenwood Press, 1968.
- Humboldt, Alejandro de, *Lettres Américaines (1798-1807)*, París, E. Guilmoto Editeur, s/f.
- , *Océano, atmósfera y geomagnetismo*, Buenos Aires-México, Espasa Calpe, 1949.
- , *Ensayo político sobre el reino de la Nueva España*, México, Editorial Pedro Robredo, 1941, 5 vols.
- , *Cosmos. Essai d'une description physique du monde*, París, Gide et J. Baudry, Editeurs, 1848, 4 vols.
- , *Ensayo político sobre la isla de Cuba*, La Habana, Cultura, 1930, 2 vols.
- , *Viaje a las regiones equinocciales del Nuevo Continente*, Caracas, Ediciones del Ministerio de Educación Nacional, 1941-1942, 5 vols.
- Koneztke, Richard, *El imperio español. Orígenes y fundamentos*, Madrid, Nueva Época, 1946.
- Labastida, Jaime, *Humboldt, ese desconocido*, México, Secretaría de Educación Pública, 1975.
- Lafuente, Antonio y Antonio J. Delgado, *La geometrización de la Tierra. (1735-1744)*, Madrid, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, 1984.
- y Antonio Mazuecos, *Los caballeros del punto fijo. Ciencia, política y aventura en la expedición geodésica hispanofrancesa al virreinato del Perú en el siglo XVIII*, Barcelona-Madrid, Serbal-CSIC, 1987.
- y José Sala Catalá (eds.), *Ciencia colonial en América*, Madrid, Alianza Editorial, 1992.
- L'Amérique Espagnole á l'Epoque des Lumières*, París, Editions du Centre National de la Recherche Scientifique, 1987.
- Lang, M. F., *El monopolio estatal del mercurio en el México Colonial (1550-1710)*, México, Fondo de Cultura Económica, 1977.
- Leonard, Irving A., *Don Carlos de Sigüenza y Góngora. A Mexican Savant of the Seventeenth Century*, Berkeley, University of California Press, 1929.
- López de Velasco, Juan, *Geografía y descripción general de las Indias*, Madrid, Ediciones Atlas, 1971.
- López Piñero, Jose María, *La ciencia en la historia hispánica*, Barcelona, Salvat Editores, S.A., 1986.
- Maffei, Eugenio y Ramón Rúa Figueroa, *Apuntes para una biblioteca*

- española de libros, folletos y artículos, impresos y manuscritos relativos al conocimiento y explotación de las riquezas minerales y a las ciencias auxiliares*, Madrid, Imprenta de J. M. Lapuente, 1871, 2 vols.
- Martínez, José Luis, *Pasajeros de Indias*, Madrid, Alianza Editorial, 1983.
- Mathes, Michael W., *Sebastián Vizcaíno y la expansión española en el Océano Pacífico*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 1973.
- Maza, Francisco de la, *Enrico Martínez, cosmógrafo e impresor de Nueva España*, México, Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística, 1943.
- Menéndez Pidal, Gonzalo, *Imagen del mundo hacia 1570 según noticias del Consejo de Indias y de los tratadistas españoles*, Madrid, Consejo de Hispanidad, 1944.
- Minguet, Charles, *Alexandre de Humboldt. Historien et Géographe de l'Amérique Espagnole (1799-1804)*, París, François Maspero, 1969.
- Mitjans, Aurelio, *Estudio sobre el movimiento científico y literario de Cuba*, La Habana, Consejo Nacional de Cultura, 1963.
- Molina, Juan Ignacio, *Compendio della storia geografica, naturale e civile del regno del Chili*, Bologna, nella stamperia di S. Tommaso d'Aquino, 1776.
- Moncada, Omar, *La obra hidráulica de los ingenieros militares en la Nueva España* (mimeógrafo), México, 1987.
- Noticias de la tierra nueva*, selección, prólogo, notas y vocabulario por Alberto M. Salas y Andrés R. Vázquez, Buenos Aires, Editorial Universitaria de Buenos Aires, 1964.
- Novo y Colson, Pedro (ed.), *Viaje político científico alrededor del mundo por las corbetas Descubierta y Atrevida al mando de los capitanes de navío D. Alejandro Malaspina y D. José Bustamante y Guerra desde 1789 a 1794*, Madrid, Imprenta de la Viuda e Hijos de Abienzo, 1885.
- Orozco y Berra, Manuel, *Apuntes para la historia de la geografía en México*, México, 1881.
- Parry, J.H., *The age of reconnaissance*, Nueva York, Mentor Books, 1964.
- Pensamiento ilustrado ecuatoriano*, estudio introductorio y selección del doctor Carlos Paladines. Quito, Banco Central del Ecuador-Corporación Editora Nacional, 1981.
- Phillips, J. Arthur, *The minning and metallurgy of gold and silver*, Londres, E. and F. N. Spon, 1867.

- Picatoste y Rodríguez, Felipe, *Apuntes para una biblioteca científica Española del siglo XVI*, Madrid, Imprenta y Fundación de Manuel Tello, 1891.
- Porras Barrenechea, R., *El paisaje peruano*, Lima, Imprenta Santa María, 1955.
- Porras Troconis, Gabriel, *Historia de la cultura en el Nuevo Reino de Granada*, Sevilla, Escuela de Estudios Hispanoamericanos, 1952.
- Price, Derek J. de S., "Contra Copernicus: A Critical Re-estimation of the Planetary Theory of Ptolemy, Copernicus and Kepler", en: Marshall Clagett, (ed), *Critical Problems in the History of Science*, Madison, The University of Wisconsin Press, 1969, pp. 197-221.
- Puertos y fortificaciones en América y Filipinas*, Madrid, Comisión de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo, 1985.
- Pulido Rubio, José, *El piloto mayor de la Casa de la Contratación de Sevilla. Pilotos mayores, catedráticos de cosmografía y cosmógrafos*, Sevilla, Escuela de Estudios Hispanoamericanos, 1950.
- Quintana, José Miguel, *La astrología en la Nueva España en el siglo XVII*, México, Bibliófilos Mexicanos, 1969.
- Ramusio, Juan Bautista, *Delle Navigationi e Viaggi*, Venecia, Giunti, 1556, 3 vols.
- Rey Pastor, Julio, *La ciencia y la técnica en el descubrimiento de América*, Buenos Aires-México, Espasa Calpe Argentina, S.A., 1942.
- Roche, Marcel, "Early History of Science in Spanish America", en *Science*, vol. 194 (19 de nov. de 1976), pp. 806-810.
- Romero, Emilio, *Geografía del Pacífico sudamericano*, México, Fondo de Cultura Económica, 1947.
- Ronsin, Albert, *Découverte et baptême de l'Amérique*, Montreal, Editions Georges Le Pape, 1979.
- Ruiz-Guiñazu, Enrique, *Proas de España en el Mar Magallánico*, Buenos Aires, Ediciones Peuser, 1945.
- Sagasti, Francisco, "Esbozo histórico de la ciencia y la tecnología en América Latina", en *Interciencia*, 6, (1978), pp. 351-359.
- (ed.), *Aproximación bibliográfica al estudio de la historia de la ciencia y la tecnología en América Latina*, Lima, Editorial Grade, 1984.
- Saladino García, Alberto, *Dos científicos de la Ilustración Hispanoamericana: J. A. Alzate y F. J. de Caldas*, México, Universidad Nacional Autónoma de México, Universidad Autónoma del Estado de México, 1990.
- Saldaña, Juan José (ed.), *El perfil de la ciencia en América*, México, So-

- ciudad Latinoamericana de Historia de las Ciencias y la Tecnología, 1986.
- San Pío, María Pilar de, *Expediciones españolas del siglo XVIII. El paso del noroeste*, Madrid, Editorial Mapfre, S.A., 1992.
- Sánchez, Luis Alberto, *El doctor Océano: estudios sobre Don Pedro de Peralta Barnuevo*, Lima, Imprenta de San Marcos, 1967.
- Sánchez Flores, Ramón, *Historia de la tecnología y la invención en México*, México, Fomento Cultural Banamex, 1980.
- Sauer, Carl Otwin, *The Early Spanish Main*, Berkeley y Los Angeles, University of California Press, 1966.
- Sauer, Walter, "Alejandro de Humboldt en el Ecuador. Una apreciación científica moderna", en *El Ecuador visto por los extranjeros*, Puebla, J. M. Cajica Jr., S. A., 1968, pp. 567-574.
- Schaffner, Ernesto, *El Real y Supremo Consejo de las Indias*, Sevilla, Publicaciones del Centro de Estudios Hispanoamericanos, 1935-1947, 2 vols.
- Smith, D. E., *The "Sumario Compendioso" of Brother Juan Diez*, Boston, 1921.
- , *History of Mathematics*, Nueva York, Dover, 1958, 2 vols.
- Stevens-Middleton, Rayfred Lionel, *La obra de Alexander von Humboldt en México*, México, Instituto Panamericano de Geografía e Historia, 1956.
- Struick, Dirk J., "Early Colonial Science in North America and Mexico", *Quipu*, vol. I, núm. 1, (1984), pp. 25-54.
- Trabulsee, Elías, *La ciencia y la tecnología en México*, México, Secretaría de Relaciones Exteriores, 1990.
- , *Cartografía mexicana*, México, Archivo General de la Nación, 1983.
- , *Descripción geográfica de América (1628)*, México, Textos Dispersos Ediciones, 1992.
- , *Archipiélagos siderales. Eclipses y astronomía en la historia de México*, México, Secretaría de Comunicaciones y Transportes, 1991.
- , *Historia de la ciencia en México*, México, CONACYT-Fondo de Cultura Económica, 1983-1989, 5 vols.
- , "La aportación de América Latina a la ciencia", *Plural*, 200 (1988), pp. 18-28.
- Tudela, José (ed.), *El legado de España a América*, Madrid, Ediciones Pegaso, 1954, 2 vols.
- Valcárcel, Luis, *Ruta cultural del Perú*, México, Fondo de Cultura Económica, 1945.

- Vernet Ginés, Juan, *Historia de la ciencia española*, Madrid, Instituto de España, 1975.
- Vilaseca Forné, Salvador, "Matemáticas y astronomía en la historia de Cuba", *Quipu*, vol. II, núm. 2 (1985), pp. 185-212.
- Vilchis, Jaime y Victoria Arias (eds.), *Ciencia y técnica entre Viejo y Nuevo Mundo. Siglos xv-xviii*, Madrid, Ministerio de Cultura, 1992.
- Vindel, Francisco, *Mapas de América en los libros españoles de los siglos xvi al xviii (1503-1798)*, Madrid, 1955.
- Wagner, Henry R., *The Cartography of the Northwest Coast of America to the year 1800*, Amsterdam, Nico Israel, 1968.
- Wolf, Teodoro, *Geografía y geología del Ecuador*, Leipzig, F. A. Brockhaus, 1892.
- Woolf, H., *The Transit of Venus. A Study of Eighteenth Century Science*, Princeton, 1959.
- Yépez, Ernesto (ed.), *Algunos aportes para el estudio de la historia de la ciencia en el Perú*, Lima, Concytec, 1983.

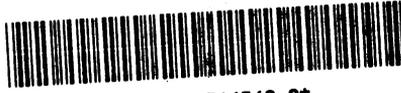
ÍNDICE

<i>Presentación</i> , por Alicia Hernández Chávez	7
<i>Prefacio</i>	9
I. <i>Geografía</i>	11
1. Los nuevos datos geográficos	11
2. Los tratados de geografía	16
3. Los progresos de la náutica	28
II. <i>Cartografía</i>	33
1. Primeras imágenes de América	33
2. Consolidación de la cartografía americana	34
3. Cartografía del Mar del Sur	56
4. Mapas particulares	63
III. <i>Ciencias exactas, I.</i>	72
1. Los orígenes	72
2. La apertura a la ciencia moderna	78
3. La astronomía de 1680 a 1750	86
IV. <i>Ciencias exactas, II</i>	98
1. La astronomía de 1750 a 1821	98
2. El debate sobre el sistema del mundo	115
3. Las matemáticas en el siglo XVIII	129
V. <i>Minería y metalurgia</i>	147
1. Las técnicas de ingeniería de minas	147
2. Las técnicas de beneficio de los metales	157
3. Los tratados de metalurgia	161
<i>Bibliografía</i>	173

Esta edición, cuya tipografía y formación realizó *Mario D. Medina Cabrera* en el taller de Composición Electrónica del Fondo de Cultura Económica, y cuyo cuidado estuvo a cargo de *Juan de Dios Barajas Cárdenas*, se terminó de imprimir en el mes de junio de 1994 en los talleres de Impresora y Encuadernadora Progreso, S. A. de C. V. (IEPSA), Calz. de San Lorenzo, 244; 09830, México, D. F.

Se tiraron 3000 ejemplares.

EL COLEGIO DE MEXICO



3 905 0546562 8

	BIBLIOTECA
	INVENTARIO 2015
DANIEL COSIO VILLEGAS	

El Colegio de México
Fideicomiso Historia de las Américas
Fondo de Cultura Económica



9 789681 643904