

645

INGENIERIA Y SOCIEDAD

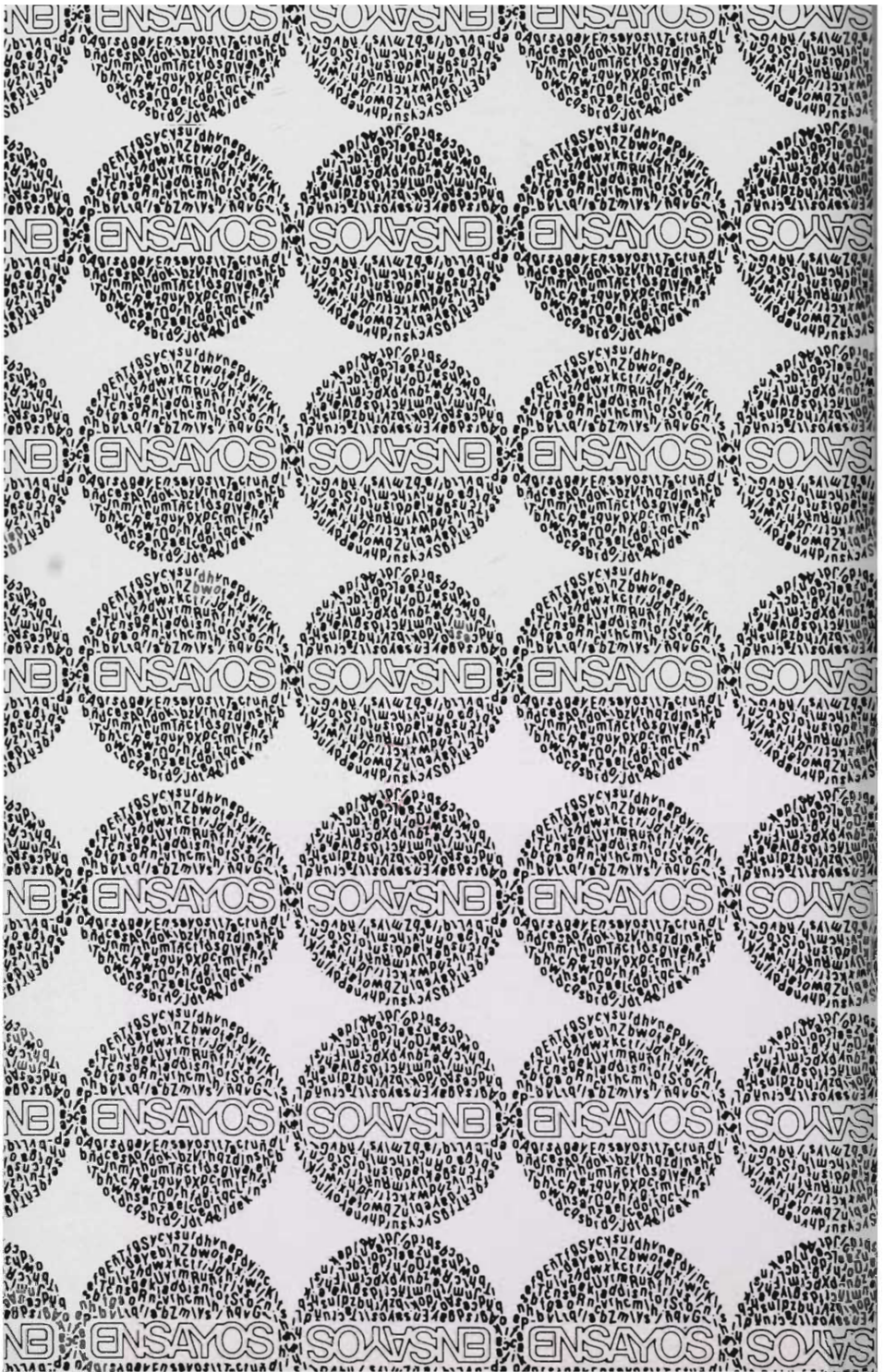
Jacinto Viqueira

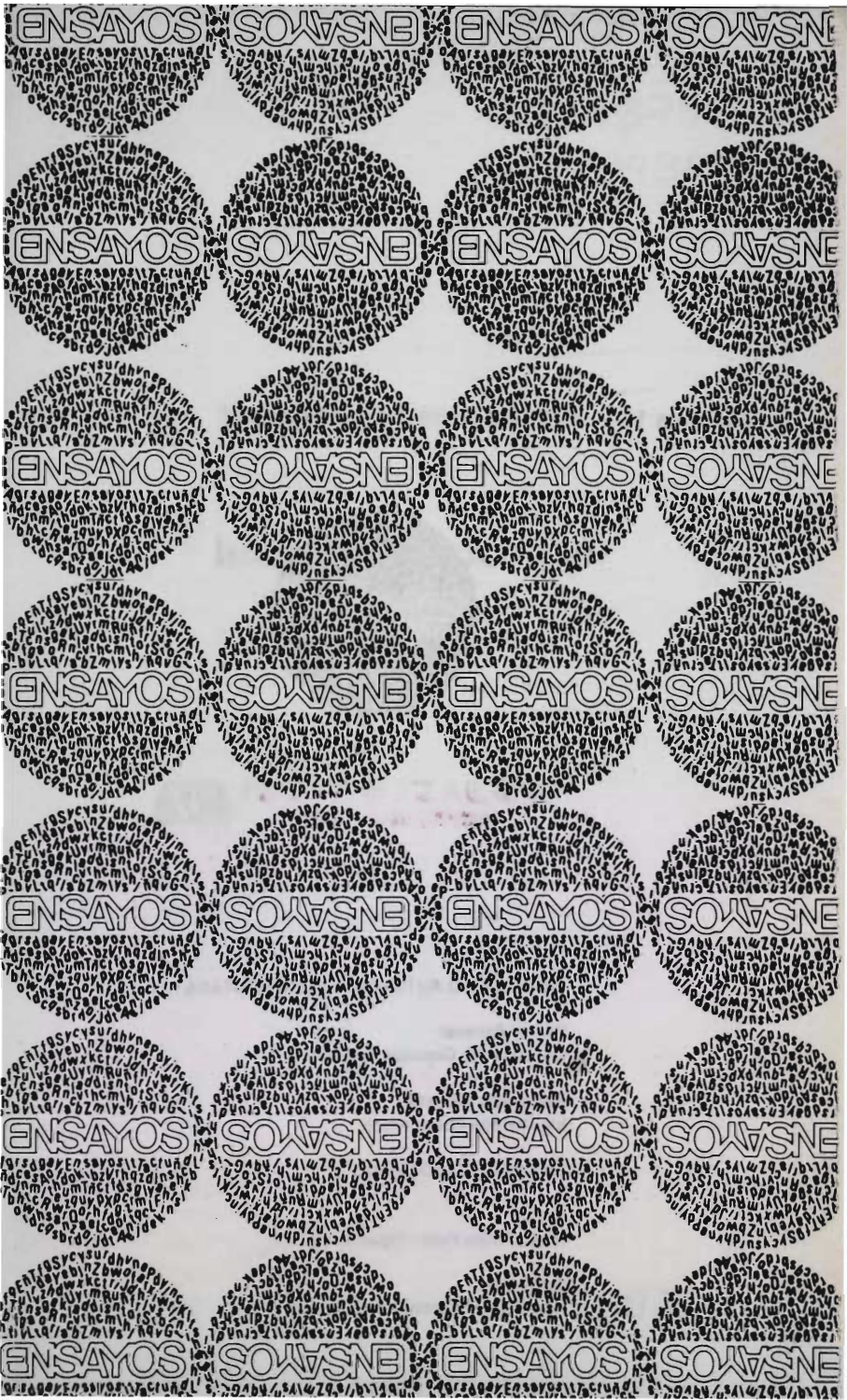


Casa abierta al tiempo



UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA-AZCAPOTZALCO





Ensayos 16



UNIVERSIDAD AUTONOMA METROPOLITANA

Rector General

Dr. Oscar M. González Cuevas

Secretario General

Ing. Alfredo Rosas Arceo

UNIDAD AZCAPOTZALCO

Rector

Mtro. Carlos Pallán Figueroa

Secretario

Arq. Manuel Sánchez de Carmona

217379
C. B. 2893647

JACINTO VIQUEIRA LANDA

INGENIERÍA Y SOCIEDAD



AZCAPOTZALCO
COSEI BIBLIOTECA

2893647

UAM
T157
V5.63

La edición de este libro fue posible gracias al apoyo de la Dirección General de Investigación Científica y Superación Académica. Subsecretaría de Educación Superior e Investigación Científica.

SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA

D.R. 1987

Jacinto Viqueira Landa

Edición diseñada por Héctor Anaya

Revisada y al cuidado de Blanca Pardo

Diseño de la Portada: Modesto Serrano
Ramírez

Ensayos

ISBN 968—840—356—3

Coordinación de Extensión Universitaria

Unidad Azcapotzalco

Universidad Autónoma Metropolitana

Av. San Pablo 180, Azcapotzalco, D.F.

Código Postal 02200

Hecho en México Printed in Mexico

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	9
--------------------	---

PRIMERA PARTE

CIENCIA, TÉCNICA E INGENIERÍA

CAPITULO 1. EL ORIGEN DE LA CIENCIA MODERNA	13
CAPITULO 2. LA TÉCNICA EN LA ANTIGÜEDAD Y EN LA EDAD MEDIA	17
La energía hidráulica	18
La energía eólica	20
CAPÍTULO 3. GALILEO Y EL METODO CIENTIFICO	23
CAPÍTULO 4. NEWTON Y LA FILOSOFIA NATURAL	31
CAPÍTULO 5. LA MAQUINA DE VAPOR Y LA PRIMERA REVOLUCION INDUSTRIAL	41
Antecedentes de la máquina de vapor	41
La máquina de fuego de Savery	43
La máquina atmosférica de Newcomen	44
La máquina de vapor de Watt	46
Aplicación de la máquina de vapor al transporte	49
La primera Revolución Industrial	51
CAPÍTULO 6. EL DESCUBRIMIENTO DE LA INDUCCION ELECTRO-MAGNETICA Y EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA ELECTRICA	55
El desarrollo histórico de los conocimientos científicos de electricidad y magnetismo	55
Faraday y su descubrimiento de la inducción electromagnética	59
Maxwell y la deducción de las ondas electromagnéticas	63
El desarrollo de la industria eléctrica	65
CAPÍTULO 7. EDISON Y LA INGENIERIA DE SISTEMAS	69
CAPÍTULO 8. EINSTEIN Y LA TEORIA DE LA RELATIVIDAD	81
El principio de la relatividad en Galileo	81
El espacio y el tiempo absolutos y relativos en Newton	83

	El movimiento de la tierra	86
	El experimento de Michelson	87
	Breve biografía de Albert Einstein	90
CAPÍTULO 9. LA FISICA ATOMICA Y LA ENERGIA NUCLEAR		99
	El desarrollo de la física atómica	99
	La energía nuclear	101
CAPÍTULO 10. LA SEGUNDA REVOLUCION INDUSTRIAL		109
	La cibernética	112
	La electrónica	113
	Las computadoras digitales	116

SEGUNDA PARTE

EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA EN MÉXICO

CAPÍTULO 11. LA IMPORTANCIA DE LAS OBRAS HIDRAULICAS EN LAS CIVILIZACIONES DE MESOAMERICA	123
Relación entre las obras hidráulicas y el desarrollo sociopolítico de Mesoamérica	123
Obras hidráulicas de los antiguos mayas	123
Difusión de la tecnología hidráulica	127
Obras hidráulicas mexicas en el Valle de México	128
Enseñanza y advertencia	136
CAPÍTULO 12. UN CIENTIFICO E INGENIERO MEXICANO DEL SIGLO XVII	139
Estudios y oposición a cátedra	139
Escritos históricos	141
Trabajos y escritos científicos	142
La polémica con el padre Kino	143
Trabajos de ingeniería	145
El motín del 8 de junio de 1692	147
Sor Juana Inés de la Cruz y su interés por la ciencia	149
Expedición a la Florida	151
El testamento de De Sigüenza y Góngora	151
CAPÍTULO 13. LA MINERIA EN MEXICO DURANTE LA EPOCA COLONIAL	155
Los primeros descubrimientos de minas de plata	155
El invento del método del beneficio de patio por Bartolomé de Medina	157

La primera época de bonanza de las minas de plata (1550-1635)	160
Los trabajadores mineros y las relaciones laborales ...	162
El auge de la minería de la plata en la segunda mitad del siglo XVIII	165
Velázquez de León y las Ordenanzas de la Minería ...	167
La primera escuela de ingeniería en México	169
<i>CAPÍTULO 14. LAS OBRAS HIDRAULICAS EN EL VALLE DE MEXICO EN LA EPOCA INDEPENDIENTE</i>	<i>177</i>
<i>CAPÍTULO 15. LOS FERROCARRILES EN MEXICO DURANTE EL PORFIRIATO</i>	<i>197</i>
Los caminos en México a principios del siglo XIX	197
El Ferrocarril Mexicano	199
Desarrollo de los ferrocarriles durante el porfiriato ...	200
<i>CAPÍTULO 16. LA INDUSTRIA PETROLERA EN LA EPOCA CONTEMPORANEA</i>	<i>213</i>
Antecedentes históricos	213
Las primeras explotaciones industriales del petróleo ..	214
Inicio de la explotación del petróleo en gran escala ...	214
La legislación sobre las minas y el petróleo	216
El primer auge petrolero en México	218
La Revolución Mexicana y el petróleo	218
La expropiación petrolera	222
El petróleo nacionalizado y el desarrollo económico de México	227

LÁMINAS

1. ESFERA DE EOLO, DE HERÓN DE ALEJANDRÍA	41
2. MÁQUINA DE PAPIN	43
3. MÁQUINA DE SAVERY	44
4. MÁQUINA DE NEWCOMEN	45
5. MÁQUINA DE WATT	47
6. DIBUJO DE FARADAY PARA ILUSTRAR UN EXPERIMENTO	61
7. RELACIÓN ENTRE DOS SISTEMAS DE GALILEO	85
8. DISPOSITIVO DE MICHELSON	88
9. MAPA DE LAS TIERRAS BAJAS DEL MAYAB	126
10. EL VALLE DE MÉXICO. LÁMINA DEL CÓDICE XÓLOTL	133
11. COPIA DEL MAPA DEL VALLE DE MÉXICO ELABORADO POR CARLOS DE SIGÜENZA Y GÓNGORA EN EL SIGLO XVII	134
12. LAGOS DEL VALLE DE MÉXICO A PRINCIPIOS DEL SIGLO XIX	194
13. ANTIGUAS Y NUEVAS OBRAS DEL DESAGÜE A FINES DEL SIGLO XIX	195
14. EL FERROCARRIL MEXICANO. ETAPAS DE SU CONSTRUCCIÓN	201
15. EL SISTEMA FERROVIARIO EN 1880	204
16. EL SISTEMA FERROVIARIO EN 1884	205
17. EL SISTEMA FERROVIARIO EN 1898	206
18. EL SISTEMA FERROVIARIO EN 1910	207

INTRODUCCION

Esta recopilación de textos se preparó para un curso que se imparte a estudiantes de primer ingreso a diversas carreras de ingeniería de la Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Azcapotzalco, y también se utilizó en un curso similar de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

El propósito de los textos es exponer la relación entre la ciencia y la ingeniería y la interacción de ambas con la sociedad, mediante el análisis del aspecto universal de estos problemas y el desarrollo histórico de algunas fases de la tecnología y la ingeniería en México.

Se procuró utilizar textos e información relativos a las actividades y desarrollos científicos y tecnológicos más característicos de cada época histórica, con el fin de hacer evidente la distinción entre la estructura ordenada de conocimientos de la ciencia y el desarrollo empírico y tecnológico, que resulta de los esfuerzos del hombre por controlar y aprovechar las fuerzas y los recursos de la naturaleza.

La ingeniería moderna se apoya tanto en el conocimiento científico como en la experiencia práctica acumulada. Pero mientras que la finalidad principal del científico es conocer, la finalidad principal del ingeniero es hacer.

Esperamos que la lectura de este material despierte el interés por profundizar en el conocimiento de nuestro pasado y sirva de motivación para enfrentarse en forma creadora a nuestros problemas actuales y futuros.

JACINTO VIQUEIRA LANDA

PRIMERA PARTE
CIENCIA, TÉCNICA E INGENIERÍA

CAPÍTULO 1

EL ORIGEN DE LA CIENCIA MODERNA

La ciencia moderna, que se caracteriza por el pensamiento racional y por métodos experimentales que han conducido a una comprensión cada vez más precisa de los fenómenos naturales, es relativamente reciente, tiene su origen en el siglo XVII. Sin embargo sus raíces se encuentran en la cultura de la Grecia antigua.

En la edad de oro de la Grecia antigua, que corresponde a los siglos V y IV a.n.e., se inicia un sistema de filosofía natural que ha influido en el pensamiento científico de la humanidad en los siglos subsiguientes. Esta época se caracteriza, desde el punto de vista de la filosofía natural, por tres personalidades: Sócrates, Platón y Aristóteles. Estos tres grandes filósofos, que abarcan tres generaciones sucesivas, creían en la existencia de una verdad universal y absoluta, que podía descubrirse mediante el razonamiento formal o lógico. El conocimiento verdadero se distinguía del conocimiento empírico adquirido únicamente a través de los sentidos.

El método socrático de razonamiento, que adoptan los griegos, es el método deductivo. La deducción es el proceso por el que se llega a la solución de un problema particular mediante la aplicación de un principio general, esto implica obtener conclusiones lógicas de premisas dadas, suponiendo que las premisas son verdaderas. La conclusión es la consecuencia necesaria de las premisas y por lo tanto, aunque la deducción sea correcta, la conclusión depende de que la afirmación inicial sea verdadera. Resulta evidente que el razonamiento deductivo no conduce necesariamente a nuevos conocimientos, puesto que la conclusión está ya contenida en la afirmación inicial, la que se da por válida sin ninguna prueba.

Aristóteles aconseja en el **Libro Primero de la Física** [*...conviene proceder desde lo universal a lo particular, porque el todo es más susceptible de conocimiento sensible*]. Este filósofo griego, de acuerdo con su pensamiento, des-

arrolla el silogismo, una forma particular del razonamiento deductivo. El silogismo consiste en una premisa general, que se supone verdadera, seguida por la aplicación de la premisa general a un caso particular, esto permite el establecimiento de una conclusión lógica.

Esta forma de razonamiento conduce a conclusiones correctas cuando las premisas son verdaderas; pero se usó en ocasiones a partir de premisas arbitrarias, como lo muestra el siguiente silogismo, que se refiere a una explicación de la caída de los cuerpos.

Un viajero acelera su paso cuando se acerca a su destino.
Un objeto que cae se comporta como un viajero.
Por lo tanto un objeto que cae se acelera a medida que se acerca a la tierra.

Evidentemente la validez de la primera premisa es muy discutible y la segunda parece completamente arbitraria. Sin embargo la conclusión es correcta y se basa, en realidad, en la observación del comportamiento de los cuerpos en caída libre, por lo que el silogismo es una justificación *a posteriori* de ese comportamiento.

Este ejemplo no implica, naturalmente, que el razonamiento deductivo no sea útil; cuando es correctamente aplicado resulta de gran utilidad, como se comprueba, por ejemplo, en las matemáticas. Aunque su mayor deficiencia es que no permite comprobar las afirmaciones iniciales.

En el ejemplo anterior la conclusión es verdadera porque no se obtiene de la deducción, sino de la observación de la naturaleza y de un razonamiento inductivo. Este razonamiento consiste esencialmente en proceder de lo particular a lo general, o sea razonar a partir de un número limitado de observaciones para llegar a una conclusión general, que se aplica a eventos similares. De esta manera pueden establecerse las afirmaciones iniciales, a partir de las cuales puede procederse por deducción a explicar experimentos particulares y comprobar así la validez de la inducción. Esta forma de razonar es el fundamento del método científico.

Aunque Aristóteles no ignoró el razonamiento inductivo, no lo utilizó consecuentemente. En general justificó sus conclusiones, que procedían de una

observación de la naturaleza, con razonamientos deductivos a partir de premisas que en algunos casos parecen arbitrarias e infundadas; este filósofo no recurrió sistemáticamente a la experimentación para comprobar sus conclusiones.

Un ejemplo de lo anterior lo proporciona el propio Aristóteles en el **Libro Cuarto de la Física**:

La experiencia demuestra que los cuerpos cuya fuerza es más grande, sea en pesantez, sea en ligereza, siendo todas las condiciones iguales por lo que respecta a las figuras, atraviesan un espacio igual con mayor rapidez, una rapidez que se da en la proporción en que están las magnitudes entre sí. En consecuencia debería ser lo mismo en el vacío, pero ello es imposible; en efecto ¿a qué causa se debería que el transporte o el movimiento fuera más rápido? En las cosas llenas esto es una necesidad, pues el cuerpo que posee una fuerza superior divide más rápidamente su medio, ya que la división depende o bien de la figura del cuerpo móvil, o bien de la fuerza del móvil o del proyectil. Por consiguiente, todos los cuerpos tendrían la misma velocidad. Ahora bien: esto es imposible.

El pensamiento de Aristóteles dominó durante la Edad Media, pues lo adoptaron los filósofos escolásticos en un intento por reconciliar la teología con el razonamiento filosófico. Aristóteles se convirtió en la autoridad indiscutible en todos aquellos asuntos que no se referían al dogma religioso.

Sin embargo, entre los griegos hay ejemplos de un enfoque moderno en el estudio de los fenómenos naturales. El caso más notable es Arquímedes y sus aportaciones a la hidrostática. B. Farrington, en **Ciencia y filosofía de la antigüedad**, resume la biografía de este gran científico que vivió de 287 a 212 a.n.e.

Aunque nacido en Siracusa, pertenece a la escuela de Alejandría, porque había estudiado en dicha ciudad y siempre se mantuvo en estrecho contacto con sus círculos científicos. La mayor parte de su vida la pasó en Sicilia como familiar y amigo del rey Hierón, prefiriendo honrar su ciudad natal y defender su patriotismo local con el uso del dialecto dórico, incluso en sus obras científicas maestras. Señalaremos, de paso, que el estilo de Arquímedes está a su altura, siendo un modelo de sencillez y precisión.

Las numerosas invenciones que realizó demuestran que Arquímedes estaba genialmente dotado para los aspectos prácticos de la mecánica. En su juventud construyó un planetario que, según una frase

sin duda demasiado entusiasta de Cicerón, “reprodujo con un solo motor todos los movimientos desiguales y diferentes de los cuerpos celestes”. En Egipto fue muy celebrada su invención de una bomba espiral para elevar el agua del Nilo. Se afirma que detectó la adulteración del oro de la corona de Hierón por un método que implica el descubrimiento del principio de la densidad específica. Botó una gran galera para Hierón por medio de un sistema de poleas compuestas y, sobre todo, defendió Siracusa contra el ataque de los romanos mediante una serie de máquinas militares sin precedentes en aquel tiempo. No obstante, lo que más le enaltece es su contribución a la ciencia pura. En su tumba deseó que se representase una esfera inscrita en un cilindro, junto con la fórmula que había descubierto para calcular el volumen que un cilindro excede a su esfera inscrita.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Aristóteles, *Obras*, Aguilar S.A. de Ediciones, Madrid, 1964.
2. Farrington, B., *Ciencia y filosofía en la antigüedad*, Ediciones Ariel, Barcelona, 1971.

CAPÍTULO 2

LA TÉCNICA EN LA ANTIGÜEDAD Y EN LA EDAD MEDIA

E

l desarrollo de la ingeniería se debe en gran parte a la experiencia práctica, acumulada a través de los siglos, de las técnicas para controlar y aprovechar las fuerzas y recursos de la naturaleza. Por lo tanto, conviene recordar algunos aspectos fundamentales de las etapas iniciales de este desarrollo tecnológico.

Hasta que el hombre domesticó y aprendió a apañar los animales de tiro, su única fuente de energía fue su propia fuerza muscular. La domesticación de los animales ocurrió en el periodo Neolítico (entre 5000 y 2000 a.n.e.). El primer testimonio del empleo de animales de carga se encuentra en el Alto Egipto, alrededor del año 3000 a.n.e., donde se usaron asnos. Hacia 1800 a.n.e. se empieza a emplear el caballo, a partir de entonces hasta la introducción de la máquina de vapor durante la Revolución Industrial, su utilización fue muy importante, pues constituyó una de las principales fuentes de energía para el transporte, la agricultura y la industria.

A pesar del empleo creciente de los animales domésticos como fuentes de energía, el trabajo humano siguió cumpliendo un papel muy importante, especialmente en la Antigüedad, época en la que la esclavitud fue una de las instituciones más características. Desde los primeros tiempos de los antiguos imperios, los prisioneros de guerra fueron utilizados en gran escala en las obras públicas y la minería. En Roma, durante el primer imperio, de los cerca de un millón de habitantes, 200 mil eran esclavos.

Sin embargo, la utilización de esclavos fue declinando por dos causas: en primer lugar por su escasez ya que disminuyó la provisión de esclavos y aumentó su mortalidad por la dureza de las condiciones de trabajo; en segundo lugar, por su baja productividad.

Además del empleo de los animales domésticos, el hombre desarrolló ingenios mecánicos para complementar y sustituir la fuerza humana y animal. Uno de los más antiguos y mayores avances tecnológicos lo constituye la invención de la rueda. La rueda de carro surgió, al parecer, aproximadamente al mismo tiempo que la rueda del alfarero, hacia el año 3000 a.n.e.

Entre los ingenios mecánicos que complementan la fuerza del hombre, la palanca es sin duda el más antiguo, aunque la ley de la palanca la enunció Arquímedes en la época griega clásica. A este científico se atribuye la frase: *[Dadme un punto de apoyo y moveré el mundo]*.

En los tiempos antiguos se conocían también otros cuatro ingenios mecánicos relacionados con la palanca: la cuña, el tornillo, la polea y la rueda con un eje, descritos en la **Mechanica**, de Herón de Alejandría, escritor del siglo I. Desde los tiempos más remotos se conocía el resorte, un medio de acumular energía y soltarla en el momento necesario, su primer uso conocido fue el arco, utilizado en la caza y en la guerra.

Durante muchos siglos se introdujeron pocos cambios fundamentales en estos ingenios mecánicos del mundo antiguo, pues aunque se hicieron mayores y más complicados, la utilización de la madera como material principal en su construcción, limitó su desarrollo. El cambio más importante se produjo en las fuentes de energía: la humana fue sustituida poco a poco, primero por la energía de los animales de tiro y más tarde por la energía hidráulica y la eólica.

LA ENERGÍA HIDRÁULICA

Existen indicios de que la primera aplicación de la energía hidráulica consistió en ruedas hidráulicas que movían cadenas de cangilones, utilizadas en Sumeria para elevar agua.

Vitruvio propuso en el siglo I a.n.e. un diseño de molino hidráulico con el eje horizontal y la rueda vertical, probablemente inspirado en el ingenio hidráulico llamado rueda persa; ésta consistía esencialmente en recipientes dispuestos alrededor de la circunferencia de una rueda, la cual giraba mediante energía humana o animal, elevaba el agua al introducir en ella los recipientes en la parte inferior de la rueda, allí se llenaban y en la parte superior se vaciaban.

ban. Aunque la rueda persa ya se utilizaba en Egipto en el siglo II a.n.e., Vitruvio describió una variante mejorada, la rueda de cangilones o noria.

La rueda hidráulica de Vitruvio es esencialmente una rueda de cangilones que funciona a la inversa que la noria. En los más antiguos molinos de este tipo, la parte inferior de la rueda se introducía en la corriente y giraba por el empuje del agua en los cangilones o arcaduces. Más tarde se descubrió que la rueda era más eficiente si se movía también desde arriba; de esta forma el agua cae sobre la parte superior de la rueda y llena algunos de los cangilones sujetos en su circunferencia, el peso del agua hace girar la rueda y los cangilones llenos se vacían, se sumergen en la corriente y son impulsados por ésta.

La rueda hidráulica, originalmente diseñada para moler grano, después se acopló a la rueda de molino mediante engranajes de madera, la proporción de engranajes generalmente se redujo de cinco a uno. Este tipo de molinos suministraba una fuente de energía mayor que ninguna otra disponible con anterioridad, por lo que no sólo facilitó la molienda de grano, sino que abrió el camino a la mecanización de otras muchas operaciones industriales.

La potencia de tales molinos puede deducirse en forma aproximada de su rendimiento. Así, en Venafrò, región cercana a Roma, un molino del tipo de los movidos únicamente por la parte inferior y con una rueda de unos dos metros de diámetro, podía moler unos 180 kilos de grano por hora; este rendimiento corresponde a unos tres caballos de potencia de las unidades de medida modernas. En contraste, un molino movido por un burro o unò movido por dos hombres, molía escasamente cinco kilos por hora.

A pesar de estas ventajas, el molino vitruviano no se utilizó de forma corriente en el imperio romano sino hasta los siglos III y IV o sea más de tres siglos después de la aparición del diseño de Vitruvio. La explicación del uso tardío del molino se encuentra probablemente en las condiciones sociales existentes en esa época: mientras se pudo disponer de esclavos y mano de obra barata, hubo pocos incentivos para efectuar el desembolso de capital necesario para instalar un molino hidráulico; se dice, además, que el emperador Vespasiano (7-79) se opuso a la utilización de la energía hidráulica porque podría causar desempleo. En cambio, en el siglo IV las circunstancias habían cambiado radicalmente, existía una gran escasez de mano de obra, por lo que

la construcción de molinos de agua se intensificó considerablemente. En esta época se construyeron molinos de grandes dimensiones.

Otro tipo de molinos de agua que se empleó desde el siglo V, se caracteriza por tener un eje vertical con una serie de paletas en su extremo inferior, que se sumerge en la corriente de agua. Estos molinos se usaban principalmente para moler grano, en cuyo caso el eje pasaba a través de la piedra inferior del molino, que permanecía fija a un nivel superior que las paletas, directamente acoplada a la piedra superior a la que hacía girar. Los molinos de este tipo necesitaban un curso rápido de agua; eran generalmente pequeños y servían para moler escasas cantidades de grano, por lo que su utilización fue limitada.

En el siglo XI se empleaban *molinos de marea* en las costas francesas e inglesas del canal de La Mancha; pero el uso de los molinos hidráulicos no se extendió sino hasta la última parte de la Edad Media, paralelamente a la expansión comercial e industrial que caracterizó a este periodo conocido como Baja Edad Media, que corresponde a los siglos XII y XIII. La energía hidráulica no sólo se utilizó para la molienda de grano, sino también para serrerías, batanes, molinos de martinets para la forja de metales, molinos para triturar mineral, llamados bocartes, y otros usos más.

LA ENERGÍA EÓLICA

La navegación a vela constituye la aplicación más antigua de la energía eólica. Algunos dibujos egipcios primitivos muestran embarcaciones construidas con cañas, equipadas para llevar una vela cuadrada. Desde mediados del tercer milenio a.n.e. había embarcaciones de vela que atravesaban el Mediterráneo oriental, a partir de entonces la navegación a vela se desarrolló y perfeccionó a tal grado que hasta el siglo XIX fue el procedimiento universal para el transporte marítimo de carga y de pasajeros. Después, los barcos de vapor desplazaron a los de vela.

El molino de viento, en cambio, apareció mucho más tarde que el de agua. No existe evidencia de que fuese conocido en el mundo antiguo. El primer conocimiento cierto de los molinos de viento proviene de los geógrafos árabes que viajaron por Persia en el siglo X. Estos viajeros describieron molinos de viento de aspas horizontales que movían un eje vertical.

Los molinos de viento se utilizaron para irrigación y molienda de grano, quizás se originaron hacia el siglo VII. Sin embargo, hasta el siglo XII aparece en Europa un tipo de molino de viento con las aspas verticales y el eje horizontal; la primera mención de este tipo de molino se encuentra en un documento normando escrito en 1180. A fines del siglo XIII su uso se extendió por los Países Bajos, Inglaterra y el norte de Francia. Los primeros molinos de viento se utilizaron para moler grano, pero desde el siglo XV su uso más importante lo constituyó el bombeo de agua, especialmente en el distrito holandés de Zaan, donde existían 700 molinos de viento al final del siglo XVII.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Dumas, M., *Las grandes etapas del progreso técnico*, Fondo de Cultura Económica, México, 1983.
2. Derry, T.K. y Williams, T.I., *Historia de la tecnología*, Siglo XXI Editores, México, 1978.

CAPÍTULO 3

GALILEO Y EL MÉTODO CIENTÍFICO

A

principios del siglo XIV se inicia el periodo histórico conocido como el Renacimiento, que se caracteriza por un interés renovado tanto en la cultura clásica griega y romana, como en el estudio de los fenómenos naturales y de las actividades humanas. Este periodo culmina con lo que se ha llamado la revolución científica, con la que nace el concepto moderno de ciencia.

Entre los precursores de esta revolución científica puede citarse a Leonardo da Vinci (1452-1519), célebre pintor y sabio florentino, quien sostenía que la verdadera ciencia empieza con la observación: *[Aquellas ciencias que no nacen del experimento son vanas y están llenas de errores. El experimento es la fuente de toda certeza, la cual no se completa con un solo experimento]*.

Otro precursor es Copérnico (1473-1543), quien propuso la teoría heliocéntrica que contradecía la concepción aristotélica del mundo, según la cual la tierra es el centro del universo.

Probablemente el primer científico moderno fue Galileo Galilei, quien nació en Pisa en 1564. A los 17 años ingresó a la Universidad de su ciudad natal. Aunque su padre deseaba que estudiara medicina, el joven Galileo se cansó pronto de las doctrinas médicas de Aristóteles y Galeno, pues encontró más interesantes las matemáticas y la física. En la universidad se destacó por su poco respeto a la ciencia oficial basada en las doctrinas de Aristóteles. En esa época se interesó en los trabajos de Arquímedes, reconstituyó el principio de la balanza hidrostática e investigó las oscilaciones pendulares y la caída de los cuerpos. No obstante su aplicación, Galileo dejó la universidad sin haber obtenido un grado académico, aunque sí consiguió una reputación de gran talento matemático. Viajó a Florencia donde se interesó en la literatura, pero no logró ejercer ninguna profesión.

A los 25 años, gracias a las recomendaciones de matemáticos que apreciaban su genio, Galileo fue admitido en la Universidad de Pisa como profesor de matemáticas, con un modesto sueldo. Durante los tres años que pasó en esa universidad investigó la caída de los cuerpos y estableció el concepto de inercia, aunque su exposición sistemática sobre este tema se publicó posteriormente.

Según las teorías aristotélicas aceptadas en esa época, los cuerpos caen con una velocidad directamente proporcional al peso de los cuerpos e inversamente proporcional a la resistencia del medio. De acuerdo con las teorías aristotélicas, el medio a través del cual caen los cuerpos constituye una resistencia indispensable; el vacío es inconcebible en la física aristotélica.

Galileo, en contraposición con estas teorías, dedujo que si la resistencia que ofrece el medio a la caída de los cuerpos es nula, todos los cuerpos caen con la misma velocidad, independientemente de su peso. El científico sostenía que en esas condiciones los cuerpos caen con una velocidad uniformemente acelerada, y que los espacios recorridos son proporcionales a los cuadrados de los tiempos empleados en recorrerlos. Para demostrar esto, Galileo realizó un experimento que describió en su libro **Diálogo de las nuevas ciencias**:

Se tomó una tabla de madera de alrededor de 12 cúbitos* de largo y un cúbito de ancho y tres dedos de grueso; en el centro se cortó un canal de un poco más de un dedo de ancho; esta ranura se hizo muy derecha, lisa y pulida y se cubrió con pergamino, también lo más liso y pulido posible; se dejó rodar sobre ella una bola de bronce dura, lisa y muy redonda. Se puso esta tabla en una posición inclinada levantando un extremo uno o dos cúbitos con respecto al otro extremo, se dejó rodar la bola, como acabo de decir, a lo largo del canal, anotando, de una manera que se dirá después, el tiempo requerido para realizar el descenso. Repetimos este experimento más de una vez para medir el tiempo con una precisión tal que la desviación entre dos observaciones nunca excediese de un décimo de un latido del pulso. Habiendo realizado esta operación y habiéndonos asegurado de su precisión, hicimos rodar la bola sólo una cuarta parte de la longitud del canal; y habiendo medido el tiempo del descenso, encontramos precisamente que era la mitad del anterior. A continuación probamos otras distancias, comparando los tiempos empleados

*Un cúbito igual a 46 centímetros. Nota del compilador.

en recorrer la mitad o las dos terceras partes, o tres cuartas partes, o cualquier otra fracción; en estos experimentos, repetidos cien veces, encontramos siempre que los espacios recorridos eran entre sí como los cuadrados de los tiempos y esto fue cierto para todas las inclinaciones del plano, o sea del canal, a lo largo del que rodábamos la bola. Observamos también que el tiempo de descenso, para varias inclinaciones del plano, estaban precisamente en la relación que, como veremos después, el autor había pronosticado y demostrado.

Para medir el tiempo, empleamos un gran recipiente con agua colocado en una posición elevada, soldamos al fondo del recipiente una tubería de pequeño diámetro por la que salía un chorrito de agua, que se recogía en un vaso pequeño durante el tiempo de descenso, ya fuese para toda la longitud de la ranura o para una parte de su longitud; el agua así recogida se pesaba, después de cada descenso, en una balanza muy precisa; la diferencia y relación de estos pesos nos daba la diferencia y relación de los tiempos, y esto con una precisión tal que aunque la operación se repitió muchas veces, no se tuvo una discrepancia apreciable en los resultados.

Galileo descubrió también el principio de inercia, según el cual un cuerpo conserva su estado de reposo o de movimiento uniforme y rectilíneo, mientras no exista una fuerza que actúe sobre él, concepto que recoge después Newton en la primera ley de la mecánica.

Después de pasar tres años como profesor en la Universidad de Pisa, en 1592 Galileo se trasladó a Padua, cerca de Venecia, donde ocupó la cátedra de profesor de matemáticas. Allí permaneció durante 18 años, los mejores de su vida, según afirmó. Durante estos años estableció sólidamente los principios y las leyes de la dinámica. Su relación con el Arsenal de Venecia lo puso en contacto con las experiencias técnicas y los perfeccionamientos mecánicos de los hábiles artesanos venecianos.

Aunque sus contribuciones más importantes a la ciencia las realizó en la mecánica, Galileo es quizá más conocido por sus contribuciones a la astronomía y por las consecuencias dramáticas que éstas tuvieron en su vida. Su interés en la astronomía se inició con el descubrimiento del telescopio, que él mismo relató en su obra **El mensajero celeste**:

Hace 18 meses me llegaba la noticia que un flamenco había construido un antejo que hacía visibles los objetos muy alejados al ojo del observador y permitía percibirlos tan distintamente como si estuvieran muy cerca; sobre esta propiedad asombrosa, en verdad, se relataban experiencias que algunos creían y otros no. La misma noticia

me fue confirmada, algunos días más tarde, por un gentilhombre francés, Jacques Badouvert, en una carta que me dirigió desde París. Tal fue la ocasión que me condujo a buscar atentamente la explicación de tal instrumento y a imaginar los medios que me permitiesen construir uno del mismo tipo. Poco tiempo después obtuve el resultado deseado, apoyándome en la teoría de la refracción. Preparé primero un tubo de plomo, en las extremidades apliqué dos lentes, una plana convexa y la otra plana cóncava; habiendo aplicado el ojo a la parte cóncava, vi los objetos bastante grandes y bastante próximos. 3 veces más próximos y 9 veces más grandes que a simple vista. Después, fabriqué un instrumento más preciso, que mostraba el objeto agrandado más de 60 veces. Finalmente, sin reparar ni en la fatiga, ni en los gastos, logré construir un instrumento tan perfeccionado, que hacía aparecer los objetos cerca de 1 000 veces más grandes y 30 veces más próximos que a simple vista. En cuanto a las ventajas múltiples que ofrece en las observaciones terrestres y marítimas, sería superfluo enumerarlas. Pero pronto, abandonando las cosas de la tierra, orienté mis especulaciones hacia las del Cielo; y primero vi la Luna tan próxima, que parecía apenas distante dos semi-diámetros terrestres. Enseguida, observé con frecuencia las estrellas, fijas o errantes, con un gozo indecible y profundo. Y como las veía muy compactas, me puse a reflexionar en la forma en que podría medir su distancia, lo que finalmente logré.

El telescopio de Galileo tuvo mucho éxito en Venecia. De acuerdo con un relato del Procurador de la República Veneciana, el 21 de agosto de 1609 varios senadores fueron comisionados para observar lo que podía verse con el antejo de Galileo desde la torre de San Marcos:

Aplicando un ojo contra el antejo y cerrando el otro, cada uno de nosotros vio distintamente la cúpula y la fachada de la iglesia de Santiago de Murano. Se distinguía también a los que entraban a la iglesia de Santiago de Murano y a los que salían; se veía a la gente subir en las góndolas o descender en el embarcadero de la columna, a la entrada del Canal de los Vidrieros, así como otros detalles maravillosos.

Después de esta demostración, el Senado en pleno presidido por el Dogo en persona, dio una gran ovación a Galileo y le ofreció un sueldo excepcional de mil florines, por una cátedra vitalicia de matemáticas.

Interesado sobre todo por la utilización del telescopio para la observación del cielo, Galileo se retiró a su casa de Padua, por las noches se dedicó a observar la luna y las estrellas *fijas* y *errantes*, o sea las estrellas y los planetas. Por primera vez no se trataba de especular sobre la esencia de los cuerpos

celestes, sino de verlos como los senadores vieron la iglesia de Murano. Galileo observó los cambios de iluminación y las fases de la luna y las explicó por los cambios de posición relativa del sol, la tierra y la luna; estableció la diferencia entre las estrellas y los planetas; descubrió los satélites de Júpiter y el anillo de Saturno y observó las fases de Venus. Todos estos hechos, no explicados por el sistema de Ptolomeo, podían explicarse en cambio por el sistema de Copérnico.

Galileo se convirtió en defensor del sistema de Copérnico, expuso sus observaciones y sus conclusiones en su libro **El mensajero celeste**, que se publicó a principios de 1610. La obra causó gran impresión en toda Europa y despertó mucho interés, todos deseaban comprobar las observaciones de Galileo.

A partir de sus descubrimientos astronómicos, Galileo se planteó el problema de asimilarlos a los principios de la física y de la dinámica que había establecido anteriormente; se preocupó por dar a su obra una forma durable y escrita. Por esta razón y probablemente también por el deseo de regresar a su tierra natal, aceptó la oferta de Cosme II de Médicis, que le concedió el título de matemático de la Universidad de Pisa, sin obligaciones docentes, y de filósofo del Gran Duque de Toscana, con un sueldo vitalicio de mil florines. Por desgracia, el ambiente cultural de Pisa y Florencia era considerablemente menos libre que el de Venecia, así que pronto fue atacado por varios teólogos que juzgaban anticlericales sus puntos de vista.

Para contestar esas críticas Galileo escribió la **Carta a Castelli**, en la que pretendía distinguir entre ciencia y religión. Según Galileo, las Escrituras no conciernen más que a la salvación de las almas, mientras que la ciencia se refiere a la naturaleza y al mundo físico. Pero la materia misma, habiendo sido creada por Dios, no puede conocerse más que por la experiencia y por un razonamiento apropiado, no por la revelación. La Escritura y la Naturaleza son dos expresiones diferentes de la misma verdad. Las leyes de la Naturaleza, siendo inexorables, no pueden engañarnos. Pero para comprender la Naturaleza hace falta iniciarse en su lenguaje, es decir en la expresión matemática. Concluía que las Escrituras no debían de manera alguna intervenir como criterios de verdad en las cosas físicas. Eran las Escrituras, por el contrario, las que debían plegarse a las conclusiones naturales en lo referente al mundo exterior.

Ante estos argumentos, el Santo Oficio de Roma tomó varias medidas: hizo una primera advertencia a Galileo en 1616; el 24 de febrero de ese año, fueron condenadas las proposiciones según las cuales el sol está inmóvil en el centro del mundo y la tierra gira sobre ella misma alrededor del sol; la obra de Copérnico, después de 80 años de su publicación, fue incluida en el índice de los libros prohibidos; por último, se exhortó a Galileo a que abandonase completamente las opiniones incriminadas.

Después de estas advertencias, Galileo se refugió en el silencio y en la meditación; continuó interesado en los problemas teóricos y técnicos, y en la construcción de aparatos de medición y de observación, como el termómetro y el microscopio. Siguió haciendo observaciones astronómicas, pero sin poderlas publicar.

En 1623, el cardenal Maffeo Barberini, amigo y admirador de Galileo, fue elegido Papa con el nombre de Urbano VIII. Galileo obtuvo de las autoridades eclesiásticas la autorización para publicar un libro que expusiera en forma imparcial las tesis de los dos grandes sistemas del mundo, el de Ptolomeo y el de Copérnico, en el entendido que se trataba de simples hipótesis matemáticas. El libro se publicó en 1632 con el nombre de **Diálogo de los dos grandes sistemas**, empleaba los mismos interlocutores de otras obras: Salviati y Sagredo que exponían los puntos de vista del autor, y Simplicio que defendía la tradición aristotélica.

Desde su aparición el libro se enfrentó a la reprobación de las autoridades eclesiásticas. En 1633 se instruyó un nuevo proceso contra Galileo, lo acusaron de haberse apartado de la posición hipotética para afirmar de manera absoluta el movimiento de la tierra y la estabilidad del sol; y de haber calificado como demostrativos y necesarios los argumentos favorables a su tesis y de insignificantes los de la parte contraria.

Galileo fue convocado ante el Santo Oficio que lo obligó a firmar su abjuración el 22 de junio de 1633. Fue condenado a prisión residencial en su propia casa, en los alrededores de Florencia, y se le prohibió de manera absoluta reunirse con discípulos y con sabios. Sin embargo, con la ayuda de secretarios benévolos, escribió el **Diálogo de las ciencias nuevas**, allí expuso las leyes de la dinámica y problemas sobre la resistencia de materiales, que constituyen su mayor aportación a la ciencia. El manuscrito fue enviado en secreto a Holanda, donde se publicó en 1638; Galileo recibió el primer ejemplar im-

preso cuando ya había perdido completamente la vista. Murió en 1642, a los 78 años de edad.

En sus años de relegación, Galileo nunca se dejó ganar por el abatimiento. En el margen de su **Diálogo de las ciencias nuevas**, escribió:

Quién puede dudar que conduce a los peores desórdenes el pretender que intelectos creados libres por Dios deban someterse servilmente a la voluntad de otros: cuando se nos ordena negar la evidencia de nuestros sentidos y de sujetarnos al capricho de otros; cuando personas desprovistas de toda competencia se constituyen en jueces de los expertos y se consideran autorizados a tratarlos a su arbitrio. He aquí las novedades que pueden arruinar a los Estados y trastornar a la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Galileo, *Dialogues et lettres choisies*. Collection UNESCO d'oeuvres représentatives, Herman, Paris, 1966.
2. Koyré, A., *Estudios de historia del pensamiento científico*, Siglo XXI Editores, México, 1980.
3. Namer. E., *Galilée*, Gauthier-Villars, Paris, 1964.
4. Shamos, M.H., *Great experiments in physics*, Henry Holt and Co., New York, 1959.

CAPÍTULO 4

NEWTON Y LA FILOSOFÍA NATURAL

Isaac Newton nació meses después de la muerte de Galileo, el 25 de diciembre de 1642, en la aldea de Woolsthorpe, situada en la región de Lincolnshire, en Inglaterra. Asistió a la escuela primaria local hasta la edad de 12 años y después, durante cuatro años, a la escuela secundaria de una población cercana; durante esta época manifestó una gran afición a la fabricación de juguetes mecánicos, por lo que desarrolló habilidad e ingenio notables. Después de un breve periodo dedicado a atender la administración de la granja familiar, a los 18 años ingresó a la Universidad de Cambridge, donde pasó cerca de 40 años, primero como estudiante y después como profesor.

Cuando Newton llegó a la universidad, Inglaterra salía apenas de la gran crisis política que se inició con el derrocamiento y ejecución de Carlos I, en 1649, siguió con la instauración de la República, encabezada por Oliver Cromwell; continuó hasta la abdicación del hijo de Cromwell, en 1659, y la restauración de la monarquía por Carlos II, en 1660.

En 1665, Newton se graduó como *Bachelor of Arts*, equivalente a la licenciatura actual. En esa época, la peste que había asolado Europa durante varias décadas, llegó a Inglaterra, lo que obligó a cerrar temporalmente la universidad. Newton regresó a la granja donde había nacido, en Woolsthorpe, allí pasó casi dos años, con breves estancias en Cambridge, dedicado a estudios matemáticos. También en esa época inició sus trabajos sobre la luz y construyó un telescopio, con la particularidad de que el objetivo era un espejo cóncavo.

En 1669 Newton fue nombrado titular de una cátedra en la Universidad de Cambridge, donde residió y trabajó durante los siguientes 27 años. En 1670, la Real Sociedad de Londres para el avance del conocimiento natural, la más

antigua y prestigiada sociedad científica de Inglaterra, aceptó en su seno a Newton, por sus trabajos sobre el telescopio.

Newton realizó importantes contribuciones al desarrollo de las matemáticas. Inventó el cálculo infinitesimal, que denominó *método de las fluxiones*, pero sostuvo con Leibniz una agria polémica porque ambos se disputaron la primicia de esta invención matemática. Al parecer los dos sabios realizaron el descubrimiento en forma independiente y casi simultánea.

Lo que Newton no compartió con nadie fueron sus aportaciones a la óptica. Desarrolló una investigación experimental sobre la naturaleza de la luz blanca solar y demostró que es el resultado de una mezcla de varios colores. Enunció la teoría corpuscular de la luz y aunque posteriormente predominó la teoría ondulatoria de Huygens, la explicación de Newton se considera de gran interés en el contexto de la física cuántica contemporánea.

Sin embargo, su máxima aportación a la ciencia fue la teoría de la gravitación universal, que expuso en su obra fundamental, escrita en latín: **Philosophiae naturalis principia mathematica**. Los antecedentes de la teoría de la gravitación universal se encuentran en los trabajos de Copérnico, quien propuso el sistema heliocéntrico en el que los planetas describen órbitas circulares alrededor del sol; en los de Kepler, quien estableció que las órbitas descritas no son circulares sino elípticas y enunció las leyes fundamentales de los movimientos planetarios; y en la dinámica de Galileo, quien estableció la ley de la caída de los cuerpos y concibió el principio de inercia, aunque no llegó a formularlo explícitamente.

Antes que Newton desarrollara la teoría de la gravitación universal, Descartes había tratado de explicar los movimientos del sistema solar mediante la teoría de los torbellinos o vórtices, que Voltaire resumió en una de sus **Cartas filosóficas**:

El peso, la caída acelerada de los cuerpos que caen sobre la tierra, la revolución de los planetas en sus órbitas, sus rotaciones alrededor de su eje, todo eso no es sino movimiento; pero el movimiento no puede concebirse mas que por un impulso; por lo tanto todos esos cuerpos son impulsados. ¿Pero qué es lo que los impulsa? Todo el espacio está lleno; por lo tanto está lleno de una materia muy sutil, puesto que no la percibimos; esa materia se mueve de Occidente a Oriente, puesto que todos los planetas son arrastrados de Occidente a Oriente. Así, de suposición en suposición y de verosimilitud en verosimilitud, se ha imaginado un gran torbellino de materia sutil,

en el que los planetas son arrastrados alrededor del sol; se concibe además otro torbellino particular, que flota en el grande y que gira diariamente alrededor del planeta. Cuando se ha hecho todo esto, se pretende que el peso depende de ese movimiento diario; pues, se dice, la materia sutil que gira alrededor de nuestro pequeño torbellino debe ir diecisiete veces más rápida que la tierra; si va diecisiete veces más rápida que la tierra, debe tener mucha más fuerza centrífuga y repeler en consecuencia todos los cuerpos hacia la tierra. He aquí la causa de la pesantez, en el sistema cartesiano.

Los primeros trabajos de Newton sobre el problema de la gravitación se remontan a 1665 y 1666, cuando se cerró la Universidad de Cambridge y Newton regresó a su casa natal. En esa época, relató el propio Newton: *[Estaba entonces en la cumbre de mis fuerzas creadoras y apasionado por la filosofía como nunca después lo estuve]*.

La intuición original consistió en extender la concepción de la caída de los cuerpos en la tierra, que había desarrollado Galileo, a los astros. ¿No podría explicarse el movimiento de la luna alrededor de la tierra como el de un proyectil lanzado con suficiente velocidad para que al combinarse ese movimiento con el de la caída por gravedad, se produjese la rotación de la luna alrededor de la tierra? ¿Y no podría generalizarse esto a los planetas del sistema solar?

Newton tomó como punto de partida el hecho astronómico revelado por Kepler algunos años antes: al girar los planetas alrededor del sol describen órbitas elípticas, pero ese movimiento produce fuerzas centrífugas, es decir fuerzas dirigidas hacia el exterior de la elipse. Newton creía que para mantener a los planetas en sus órbitas elípticas alrededor del sol, era necesario que existieran fuerzas centrípetas, o sea dirigidas hacia el interior de la elipse, que equilibrasen las fuerzas centrífugas. A partir de este razonamiento, Newton calculó en forma aproximada la fuerza centrífuga, supuso que la órbita descrita era circular, analizó la presión que ejercería sobre la superficie interna de una esfera un pequeño cuerpo esférico que girara interiormente sobre ella. Después, con la tercera ley de Kepler, calculó la fuerza centrípeta necesaria para retener a un planeta en su órbita, así encontró que esa fuerza es inversamente proporcional al cuadrado de la distancia del planeta al sol.

Ese mismo análisis lo aplicó el científico inglés al movimiento de la luna alrededor de la tierra, comparó la fuerza de gravedad ejercida sobre la luna con la fuerza necesaria para mantener a la luna en su órbita alrededor de la

tierra. Según el teólogo Whiston (a quien Newton relató su descubrimiento), de acuerdo con esos primeros cálculos la fuerza de gravedad resultaba insuficiente para compensar la fuerza centrífuga. Esta discrepancia parece ser que se debió a que Newton usó un valor poco aproximado de la longitud de un grado de meridiano terrestre, del cual dependía el cálculo de la distancia entre la tierra y la luna. El hecho es que Newton abandonó entonces su estudio para dedicarse a otros temas de matemáticas y de óptica.

En 1671 el astrónomo francés Picard midió la longitud de un grado de meridiano, los resultados fueron conocidos y discutidos en la Real Sociedad. En cuanto Newton supo ese nuevo valor, repitió sus cálculos y encontró que la fuerza de gravedad era precisamente igual a la fuerza necesaria para equilibrar la fuerza centrífuga y mantener a la luna en su órbita.

Entre la primera intuición de Newton sobre la gravitación universal y la redacción de los **Principia** pasaron 20 años. La parte esencial de los **Principia** fue escrita entre 1685 y 1686. Al demostrar que los cuerpos se atraen en proporción directa a su masa y en proporción inversa al cuadrado de la distancia a que se encuentran, y aplicar esto al movimiento de la luna y de los planetas, Newton demostró que su teoría podía generalizarse a todo el universo y que permitía tanto una descripción completa de los movimientos en el sistema solar, como la previsión de los fenómenos astronómicos causados por la gravitación.

En 1687, mientras corregía las pruebas de imprenta de los **Principia**, Newton participó, como miembro de la delegación que representó a la Universidad de Cambridge, en la confrontación entre la universidad y el rey Jacobo II, que sucedió a su hermano Carlos II. Jacobo II, impopular por su religión católica en un país de mayoría protestante, pretendió imponer a las universidades de Oxford y Cambridge, sobre las que legalmente no tenía ningún poder, el nombramiento para puestos académicos de personas que las universidades consideraban que no reunían los méritos requeridos, pero que eran católicas. Newton se opuso resueltamente a la voluntad real, por lo que formó parte de la delegación de la Universidad de Cambridge que fue a Londres a defender ese punto de vista.

En 1688 estalló la revolución contra Jacobo II, quien luego de ser derrocado huyó a Francia. Newton representó a la Universidad de Cambridge en el Parlamento, en 1689. El científico, durante su estancia en Londres, al tiempo

que entabló amistad con el filósofo Locke, inició sus trabajos sobre teología, a los que dedicó gran parte de sus últimos años de vida.

En 1690, Newton regresó a Cambridge preocupado sobre todo por problemas teológicos. En esa época murió su madre, a la que siempre estuvo muy ligado; el científico quedó solo, pues nunca casó. En 1693 sufrió una profunda depresión nerviosa que lo puso al borde de perder la razón, pero se recuperó.

En 1696 fue nombrado encargado de la Casa de la Moneda, por lo que se fue a vivir a Londres. Newton reorganizó la acuñación de moneda con gran éxito, estudió nuevas aleaciones metálicas y los distintos tipos de máquinas necesarias para la producción. Tres años más tarde, el científico fue elegido miembro del Consejo de la Real Sociedad; en 1701 leyó allí la única memoria científica sobre química que publicó, aunque dedicó bastante tiempo a estudios de alquimia. En 1703 fue elegido presidente de la Real Sociedad, puesto que ocupó hasta su muerte en 1724.

Newton se interesó profundamente por el problema del método científico sobre el que escribió extensamente. A continuación se reproduce una serie de textos que ilustran su concepción de la ciencia y del método científico.

En el prefacio a **Philosophiae naturalis principia mathematica**, fechado el 8 de mayo de 1686, Newton escribió:

Toda la dificultad de la filosofía parece consistir en encontrar las fuerzas que emplea la naturaleza, por medio de los fenómenos del movimiento que conocemos, y en demostrar en seguida, por medio de esto, los otros fenómenos. Es el objeto que se ha contemplado en las proposiciones generales del primero y del segundo libros, y se da de él un ejemplo en el tercero, al explicar el sistema del universo: pues se determinan allí mediante las proposiciones matemáticas demostradas en los dos primeros libros, las fuerzas con las cuales los cuerpos tienden hacia el sol y los planetas; después de lo cual, con la ayuda de los mismos principios, se deducen de estas fuerzas los movimientos de los planetas, de los cometas, de la luna y del mar. Sería deseable que los otros fenómenos que nos presenta la naturaleza pudieran derivarse tan felizmente de principios mecánicos; pues varias razones me llevan a suponer que todos dependen de algunas fuerzas cuyas causas son desconocidas, y por las cuales las partículas de los cuerpos son empujadas las unas hacia las otras y se unen en figuras regulares, o son repelidas y se huyen mutuamente; y es la ig-

norancia en la que se ha estado hasta aquí de estas fuerzas la que ha impedido a los filósofos intentar con éxito la explicación de la naturaleza. Espero que los principios que he puesto en esta obra podrán ser de alguna utilidad a esta manera de filosofar o a alguna otra más verdadera, si yo no he alcanzado el objeto.

El libro III de los **Principia** se inicia con una introducción que en la edición definitiva (tercera, 1726) precisa la metodología, enunciando cuatro reglas que hay que seguir en el estudio de la filosofía natural:

Regla I. No se deben admitir otras causas que las necesarias para explicar los fenómenos.

La naturaleza no hace nada en vano y sería hacer cosas inútiles operar mediante un gran número de causas lo que se puede hacer por uno más pequeño.

Regla II. Los efectos del mismo género deben siempre ser atribuidos, en la medida en que es posible, a la misma causa.

Así la respiración del hombre y la de las bestias, la caída de una piedra en Europa y en América, la luz del fuego en este mundo y la del sol, la reflexión de la luz sobre la tierra y en los planetas, deben ser atribuidas respectivamente a las mismas causas.

Regla III. Las cualidades de los cuerpos que no son susceptibles de aumento ni disminución y que pertenecen a todos los cuerpos sobre los cuales se pueden hacer experimentos, deben ser miradas como pertenecientes a todos los cuerpos en general.

No se pueden conocer las cualidades de los cuerpos sino por la experiencia, así se deben mirar como cualidades generales aquéllas que se encuentran en todos los cuerpos, y que no pueden sufrir disminución, pues es imposible despojar los cuerpos de las cualidades que no se pueden disminuir. No se pueden oponer ensoñaciones a los experimentos y no se debe abandonar nunca la analogía de la naturaleza, que es siempre simple y semejante a ella misma.

La extensión de los cuerpos no se conoce sino por los sentidos, y no se deja sentir en todos los cuerpos; pero como la extensión pertenece a todos aquéllos que caen bajo nuestros sentidos afirmamos que pertenece a todos los cuerpos en general.

Experimentamos que varios cuerpos son duros; ahora bien, la dureza del todo viene de la dureza de las partes, así admitimos esta cualidad no solamente en los cuerpos en los cuales nuestros sentidos nos la hacen experimentar, sino que inferimos de esto, con razón, que las partículas indivisas de todos los cuerpos deben ser duras.

Concluimos de la misma manera que todos los cuerpos son impenetrables. Puesto que todos los que tocamos son impenetrables, miramos la impenetrabilidad como una propiedad que pertenece a todos los cuerpos.

Puesto que todos los cuerpos que conocemos son móviles, y do-

tados de cierta fuerza (que llamamos fuerza de inercia) por la cual perseveran en el movimiento o en el reposo, concluimos que todos los cuerpos en general tienen estas propiedades. La extensión, la dureza, la impenetrabilidad, la movilidad y la inercia del todo vienen pues de la extensión, de la dureza, de la impenetrabilidad, de la movilidad y de la inercia de las partes: de aquí concluimos que todas las pequeñas partes de todos los cuerpos son extensas, duras, impenetrables, móviles y dotadas de la fuerza de inercia. Y éste es el fundamento de toda la física.

Además, sabemos también por los fenómenos que las partes contiguas de los cuerpos pueden separarse y las matemáticas hacen ver que las partes indivisibles más pequeñas pueden ser distinguidas una de la otra por el espíritu. Se ignora aún si esas partes distintas y no divididas podrían ser separadas por las fuerzas de la naturaleza; pero si fuera cierto, por una sola experiencia, que una de las partes que se miran como indivisibles sufriera alguna división al separar o romper un cuerpo duro cualquiera concluiríamos por esta regla que no solamente las partes divididas son separables, sino que aquellas que están indivisas pueden dividirse al infinito.

En fin, puesto que consta por los experimentos y por las observaciones astronómicas que todos los cuerpos que están cerca de la superficie de la tierra pesan sobre la tierra, según la cantidad de su materia; que la luna pesa sobre la tierra en razón de su cantidad de materia; que nuestro mar pesa, a su vez, sobre la luna, que todos los planetas pesan mutuamente los unos sobre los otros, y que los cometas pesan también sobre el sol, se puede concluir, según esta tercera regla, que todos los cuerpos gravitan mutuamente los unos hacia los otros. Y este razonamiento en favor de la gravedad universal de los cuerpos, sacado de los fenómenos, será más fuerte que aquél por el cual se concluye su impenetrabilidad; pues no tenemos experiencia alguna ni alguna observación que nos asegure que los cuerpos celestes son impenetrables. No obstante yo no afirmo que la gravedad sea esencial a los cuerpos sino la sola fuerza de inercia, la cual es inmutable; mientras que la gravedad disminuye cuando se aleja de la tierra.

Regla IV. En la filosofía experimental, las proposiciones sacadas por inducción de los fenómenos deben ser miradas, a pesar de la hipótesis contrarias, como exacta o aproximadamente verdaderas, hasta que algunos otros fenómenos las confirmen enteramente o hagan ver que están sujetas a excepciones.

Pues una hipótesis no puede debilitar los razonamientos fundados sobre la inducción sacada de la experiencia.

En el siguiente texto de Newton, correspondiente al libro III de la **Óptica**, se afirma que la ciencia debe contentarse con establecer las leyes de los fenómenos, pues sólo ellas son verificables por la experiencia; en cuanto a la explicación de estas leyes y a la investigación de las causas

profundas, son cosas que pertenecen a la hipótesis y nos conducen fuera de la ciencia.

No examino aquí lo que puede ser la causa de estas atracciones. Lo que llamo aquí atracción puede ser producido por impulsión o por otros medios que me son desconocidos. No empleo aquí esta palabra sino para significar, en general, una fuerza cualquiera por la cual los cuerpos tienden recíprocamente los unos hacia los otros, cualquiera que sea la causa de ello. Pues es de los fenómenos de la naturaleza de los que debemos aprender cuáles cuerpos se atraen recíprocamente, y cuáles son las leyes y las propiedades de esta atracción, antes que investigar cuál es la causa que produce la atracción....

No considero estos principios como cualidades ocultas que se supondrían que resultan de la forma específica de las cosas, sino como leyes generales de la naturaleza, por las cuales las cosas mismas son formadas; leyes cuya verdad se muestra a nosotros por los fenómenos, aunque no se hayan descubierto todavía sus causas. Pues estas cualidades son manifiestas, y solamente sus causas están ocultas. Los aristotélicos no dieron el nombre de cualidades ocultas a las cualidades manifiestas, sino a las cualidades que ellos suponían escondidas en los cuerpos y ser causas desconocidas de efectos manifiestos, tales como serían las causas de la pesadez, de las atracciones magnéticas y eléctricas, y de los fenómenos, si supusiéramos que estas fuerzas o atracciones proceden de cualidades que nos fuesen desconocidas y que no pueden nunca ser descubiertas. Estas maneras de cualidades ocultas detienen el progreso de la filosofía natural, y es por eso que han sido rechazadas en los últimos tiempos. Decirnos que cada especie de cosas está dotada de una cualidad oculta específica, por la cual opera y produce efectos sensibles, es no decirnos nada de nada; pero deducir de los fenómenos de la naturaleza dos o tres principios generales del movimiento y explicarnos enseguida cómo las propiedades y las acciones de todas las cosas corporales se desprenden de estos principios manifiestos, sería progresar muy considerablemente en la filosofía, aunque las causas de estos principios no estuvieran todavía descubiertas. Sobre este fundamento no veo dificultad en proponer los principios del movimiento mencionados arriba, pues son de una extensión muy general, y dejo a otros el cuidado de descubrir sus causas...

En la física tanto como en los principios matemáticos, hay que emplear, en la investigación de las cosas difíciles, el método analítico antes de recurrir al método sintético. Ese primer método consiste en hacer experimentos y observaciones, y en sacar de ellas, por inducción, las conclusiones generales, y en no admitir ninguna objeción contra estas conclusiones que no sea tomada de alguna experiencia o de otras verdades ciertas. Pues en cuanto a las hipótesis, no hay que

tener con ellas ningún miramiento en la filosofía experimental. Y aunque los razonamientos fundados por inducción sobre los experimentos y las observaciones no establecen demostrativamente conclusiones generales, es empero la mejor manera de razonar que puede admitir la naturaleza de las cosas; y debe ser reconocida tanto mejor fundada cuanto la inducción es más general. Y si no hay ninguna objeción por parte de los fenómenos, se puede sacar una conclusión general. Pero si en la secuencia se presenta alguna excepción por parte de los fenómenos, es necesario entonces que la conclusión sea limitada por tales o cuales excepciones que se presenten. A favor de esta especie de análisis se puede pasar de los compuestos a los simples, y de los movimientos a las fuerzas que los producen y en general de los efectos a las causas y de causas particulares a otras más generales, hasta que se llegue a las más generales. Tal es el método que se nombra análisis. En cuanto a la síntesis, consiste en tomar por principios las causas conocidas y experimentadas, en explicar por su medio los fenómenos que de ellas provienen, y en probar estas explicaciones.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Blanché, R., *El método experimental y la filosofía de la física*, Fondo de Cultura Económica, México, 1975.
2. Hayli, A., *Newton, mathématicien, physicien, astronome*, Editions Seghers, Paris, 1970.
3. Voltaire, *Lettres philosophiques*, La science moderne, D.U.F., Paris, 1958.

CAPÍTULO 5

LA MÁQUINA DE VAPOR Y LA PRIMERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

ANTECEDENTES DE LA MÁQUINA DE VAPOR

L

a *esfera de Eolo*, de Herón de Alejandría, inventada en el siglo I, puede considerarse como el antecedente más antiguo de una máquina de vapor. Consistía en una esfera llena de agua que se calentaba hasta producir vapor, el cual salía por dos tubos que producían la rotación de la esfera sobre un eje (*lámina 1*). Este aparato, que constituye una turbina de vapor de reacción, no tuvo aplicaciones prácticas.

Los antecedentes modernos de la máquina de vapor se encuentran en los estudios sobre vacío y sobre la presión atmosférica que se realizaron a mediados del siglo XVII. En esa época se sabía por experiencia, especialmente en las minas, que una bomba aspirante no podía elevar el agua por encima de unos nueve metros, pero no se había encontrado una explicación al porqué de ese límite. Cuando los técnicos de Cosme II de Médicis fracasaron en el intento de construir una bomba aspirante capaz de extraer agua de una profundidad de 15 metros, se confió el problema a Galileo, problema que sería finalmente resuelto por su brillante discípulo Torricelli. En 1644, Torricelli estableció que la presión de la atmósfera es igual a la

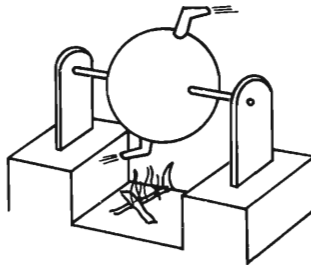


LÁMINA 1. ESFERA DE EOLO, DE HERÓN DE ALEJANDRÍA.

ejercida por una columna de mercurio de unos 760 milímetros de altura. Pascal comprobó en 1647 que la columna de mercurio de un barómetro (y por lo tanto la presión atmosférica), desciende a medida que aumenta la altitud sobre el nivel del mar. En 1654, Von Guericke, con su famoso experimento de Magdeburgo, realizó una espectacular demostración de la enorme fuerza que puede ejercer la atmósfera; mostró que cuando dos hemisferios de 50 centímetros de diámetro, perfectamente ajustados, se unen para formar una esfera y se hace el vacío en su interior, dos tiros de ocho caballos cada uno no pueden separarlos.

Huygens, el célebre científico holandés autor de la teoría ondulatoria de la luz (entre otras muchas contribuciones científicas), inventó en 1680 una máquina en la que se hacía explotar pólvora en un cilindro cerrado por un pistón, esta máquina constituye un antecedente de los motores de combustión interna. La expansión de los gases producidos por la combustión de la pólvora y del aire caliente impulsaban el émbolo, los gases eran expulsados a través de una válvula de escape; cuando se cerraba la válvula y se enfriaban los gases y el aire restante del cilindro, se creaba un vacío parcial que causaba que el émbolo regresara por el efecto de la presión atmosférica.

El francés Denis Papin, quien trabajó como ayudante de Huygens durante la estancia de éste en Francia, propuso en 1690 la siguiente máquina de vapor:

Puesto que el agua goza de la propiedad de que una pequeña cantidad de ella transformada en vapor por medio del calor tiene una fuerza elástica similar a la del aire, y de que por medio del frío se transforma de nuevo en agua, de manera que no queda ni rastro de aquella fuerza elástica, he llegado a la conclusión de que se pueden construir máquinas en cuyo interior, por medio de un calor no demasiado intenso y a bajo costo, se puede producir el vacío perfecto, que de ningún modo se podría conseguir utilizando la pólvora.

Aunque Papin no conocía la relación cuantitativa, un volumen de agua produce 1 300 volúmenes de vapor en su punto de ebullición, de forma que potencialmente se podría conseguir un vacío casi perfecto reconvirtiendo el vapor en agua por medio de la condensación.

Papin realizó una máquina que consistía en un cilindro vertical de aproximadamente 63 milímetros de diámetro, cerrado por su parte inferior, que incluía un émbolo con un vástago. El agua contenida en el fondo del cilindro se hervía calentando la parte inferior. El vapor generado hacía subir el émbolo.

lo, el cual era sostenido en el punto más alto de su recorrido por medio de un pasador. Se enfriaba entonces el aparato, con lo que el vapor se condensaba y se convertía de nuevo en agua, creando un vacío dentro del cilindro. Cuando se quitaba el pasador el émbolo era empujado hacia el fondo del cilindro por la presión atmosférica exterior (*lámina 2*).

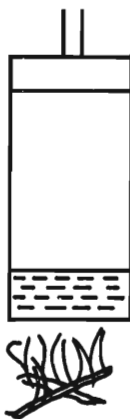


LÁMINA 2. MÁQUINA DE PAPIIN.

Papin no logró apoyo para realizar la aplicación industrial de su máquina. Después de residir en Alemania, donde propuso un barco movido por vapor mediante ruedas de paletas, murió en la miseria en Inglaterra.

A pesar de estas anticipaciones extraordinarias, el desarrollo práctico de las primeras máquinas de vapor derivó de la necesidad de bombear agua de las minas. Según parece, el precedente de las bombas movidas por vapor lo constituye la máquina concebida por el inglés Edward Somerset, segundo marqués de Worcester, quien combinó el aprovechamiento de la presión producida por el vapor de agua con la producción de un vacío parcial por condensación del vapor, para lograr el bombeo del agua. En 1663 Somerset obtuvo del Parlamento inglés el monopolio por 99 años para explotar ese invento.

LA MÁQUINA DE FUEGO DE SAVERY

Sin embargo, la primera aplicación industrial de una bomba de este tipo movida por vapor fue realizada por Thomas Savery (1650-1715), quien en

1698 hizo una demostración ante Guillermo III de Inglaterra. Savery describió su *máquina de extraer agua por medio del fuego* en un opúsculo titulado **El amigo del minero**.

La máquina de Savery funcionaba de la siguiente manera: se producía vapor en una caldera, el cual era conducido a través de un tubo provisto de una válvula a un recipiente. Cuando éste se llenaba de vapor, se enfriaba bañándolo por su parte exterior con agua fría, lo que causaba la condensación del vapor y producía un vacío, de manera que al conectar el recipiente al tubo de succión abriendo la válvula correspondiente, la presión atmosférica hacía subir el agua al recipiente, lo que limitaba la altura máxima de esta primera etapa del bombeo a unos 9 metros. Una vez lleno de agua el recipiente, se inyectaba de nuevo vapor que expulsaba hacia arriba el agua, en una segunda etapa del bombeo (*lámina 3*).

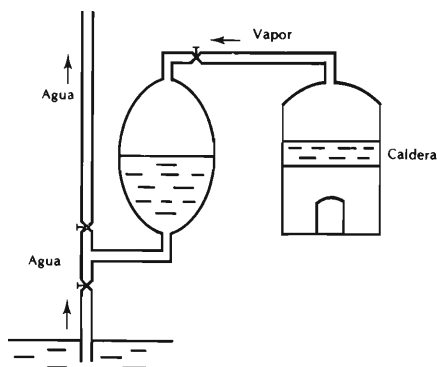


LÁMINA 3. MÁQUINA DE SAVERY.

Desde luego esta máquina era muy ineficiente y la altura de bombeo de la segunda etapa dependía de la presión del vapor de agua, que a su vez estaba limitada por problemas de construcción de las tuberías y las calderas. A medida que la explotación de las minas se hizo más profunda, la máquina de Savery resultó más insuficiente.

LA MÁQUINA ATMOSFÉRICA DE NEWCOMEN

La solución al problema del bombeo de agua de minas profundas fue obra de Thomas Newcomen (1663-1729), ferretero y herrero de Dartford, contem-

poráneo de Savery y natural, como éste, de Devon. Sin embargo el principio de funcionamiento de la bomba de Newcomen no se derivó del desarrollado por Savery, sino más bien del aparato con cilindro y pistón propuesto por Papin, del que quizás tuvo noticia Newcomen.

La bomba de vapor de Newcomen consistía en un cilindro con un pistón móvil que actuaba sobre un balancín, como se muestra en la *lámina 4*. Por la parte inferior del cilindro se inyectaba vapor producido en una caldera, el cual elevaba el pistón venciendo la presión atmosférica. El balancín, liberado de un lado por la ascensión del pistón, descendía del otro lado bajo el peso de las partes móviles de la bomba (y de contrapesos, en caso necesario), permitiendo el descenso del émbolo de la bomba. En la segunda fase de la operación, con el émbolo de la máquina de vapor en su posición superior y el cilindro lleno de vapor, se inyectaba agua en el cilindro, lo que causaba la condensación del vapor, y la producción de un vacío. La presión atmosférica

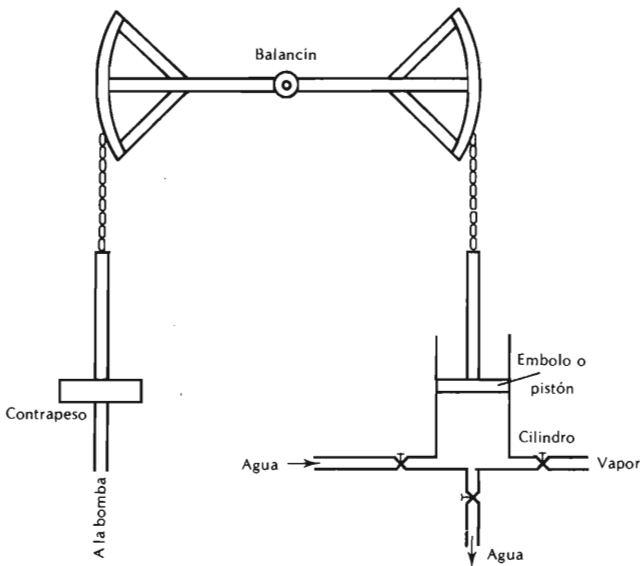


LÁMINA 4. MÁQUINA DE NEWCOMEN.

aplicada a la parte superior del émbolo lo hacía descender y, mediante el balancín, hacía subir el pistón de la bomba de agua y la columna de agua, que se descargaba en el nivel superior. Como esta segunda etapa aprovechaba la presión atmosférica para el movimiento de la bomba, la máquina se llamó *máquina atmosférica*.

Las válvulas de agua y de vapor se abrían y cerraban automáticamente, mediante un mecanismo movido por la bomba de inyección de agua al cilindro. Para lograr el sello entre el émbolo y el cilindro, se utilizaba una junta de cuero y se mantenía una capa de agua en la parte superior del émbolo.

Una ventaja importante de la bomba de vapor de Newcomen era que su potencia podía aumentarse si se incrementaba el diámetro del pistón y su carrera, sin necesidad de elevar la presión del vapor, que era del mismo orden que la presión atmosférica.

Newcomen se asoció con Savery, esta asociación permitió que la primera máquina atmosférica se instalara en 1712 en las minas de carbón de Duley Castle, en Worcestershire. El balancín de la máquina hacía 12 movimientos por minuto, en cada uno de los cuales extraía 45 litros de agua de una profundidad de 46 metros.

El tamaño de las máquinas de Newcomen estaba limitado por la tecnología disponible para la fabricación de los cilindros, que primero se hicieron de latón y después de hierro fundido. El uso de estas máquinas se extendió a varios países de Europa y permitió la explotación de minas de carbón profundas.

La máquina de Newcomen fue perfeccionada por Smeaton, pero a pesar de esas mejoras, resultaba muy ineficiente. El perfeccionamiento decisivo de la máquina de Newcomen fue obra de James Watt (1736-1819), quien en el intento de mejorarla, concibió una máquina de vapor que debe considerarse como una creación original.

LA MÁQUINA DE VAPOR DE WATT

James Watt provenía de una familia obrera. En Londres aprendió el oficio de fabricación y reparación de aparatos de física; posteriormente entró al servicio de la Universidad de Glasgow. En 1763 le encargaron la reparación de una máquina de Newcomen de la universidad; como resultado de este traba-

jo, Watt perfeccionó la máquina y obtuvo una patente en 1769. A continuación se reproduce la descripción que hizo Watt de la máquina patentada (*lámina 5*).

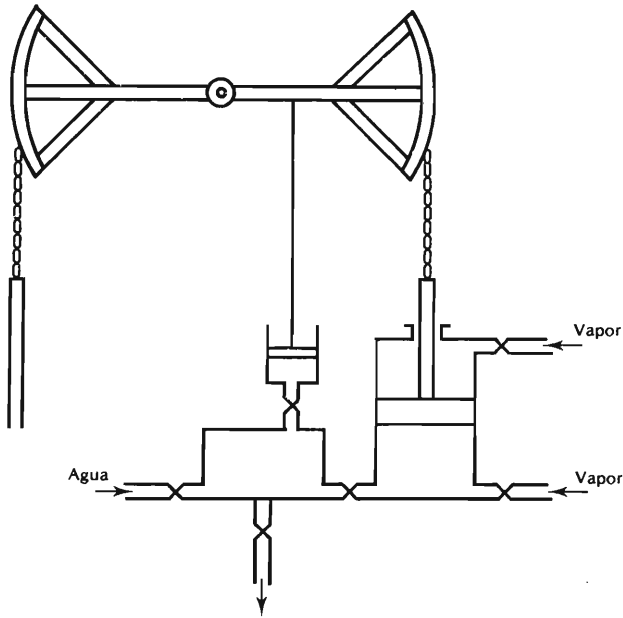


LÁMINA 5. MÁQUINA DE WATT

Puesto que su muy Excelentísima Majestad el Rey Jorge Tercero, por su Carta de Patente bajo el Gran Sello de Gran Bretaña, fechado el quinto día de enero, en el noveno año de su reino, concedió y otorgó a James Watt de la Ciudad de Glasgow... mi método para disminuir el consumo de vapor, y en consecuencia de combustible, en máquinas de fuego consiste en los siguientes principios:

Primero, que el recipiente en el que la potencia del vapor se emplea para hacer trabajar la máquina —que es llamado el cilindro en las máquinas de fuego comunes y al que yo llamo el recipiente del vapor— debe, durante todo el tiempo que la máquina está funcionando, mantenerse tan caliente como el vapor que entra en él; primero, encerrándolo en una caja de madera, o cualquier otro material que transmita el calor lentamente; segundo, rodeándolo con vapor u otros cuerpos calientes; y tercero, impidiendo que el agua u

otra sustancia más fría que el vapor entre en contacto con él durante ese tiempo.

Segundo, en máquinas que funcionan, totalmente o en parte, mediante la condensación del vapor, el vapor debe condensarse en recipientes distintos del recipiente del vapor o cilindro, pero que comuniquen con él ocasionalmente. A estos recipientes les llamo condensadores; y cuando las máquinas están trabajando, estos condensadores deben mantenerse por lo menos tan fríos como el aire en la vecindad de las máquinas, mediante la aplicación de agua u otros cuerpos fríos.

Tercero, cualquier aire u otro vapor elástico que no se condense con el frío del condensador y pueda estorbar el funcionamiento de la máquina, debe extraerse de los recipientes del vapor o de los condensadores mediante bombas, movidas por la máquina misma o por otro medio.

Cuarto, me propongo en muchos casos emplear la fuerza expansiva del vapor para ejercer presión en los pistones, o en lo que se use en lugar de ellos, de la misma manera que la presión de la atmósfera se emplea actualmente en las máquinas de fuego usuales. En casos en que no pueda disponerse de agua fría abundante, la máquina puede impulsarse por esta fuerza del vapor únicamente, descargando el vapor en el aire libre después de que ha realizado su cometido.

Por último, en lugar de usar agua para lograr que el pistón u otras partes de la máquina sean herméticas al aire o al vapor, empleo aceites, ceras, cuerpos resinosos, grasa de animales, estaño y otros metales, en su estado fluido.

Watt se asoció con un industrial de la ciudad de Birmingham, llamado Matthew Boulton, lo que permitió al inventor, por una parte, la fabricación industrial y la explotación comercial de su máquina de vapor; y por otra, la posibilidad de seguir perfeccionando su invento.

En 1781, Watt patentó la máquina de vapor de doble efecto, en la que el vapor se enviaba alternativamente a uno y otro lado del émbolo, descargándolo oportunamente al condensador. Se producía así un movimiento alternativo en el que los dos tiempos eran motores, por lo que se duplicaba la potencia de la máquina. Para transmitir el movimiento de la máquina de doble efecto al balancín, se requería una transmisión rígida; Watt desarrolló entonces el mecanismo del paralelogramo articulado. Además, el inventor creó el engranaje planetario, con el objeto de extender el uso de la máquina de vapor a nuevas aplicaciones industriales, pues así logró convertir el movimiento alternativo en movimiento rotatorio. Watt también resolvió el problema de regular la velocidad de rotación, inventó el regulador de bolas que actuaba sobre la admisión del vapor.

Estas mejoras en la máquina de vapor permitieron a la compañía Boulton y Watt construir 496 máquinas, de las cuales 164 sirvieron como bombas de agua, 24 fueron empleadas en la industria siderúrgica y las 308 restantes sirvieron para mover otras máquinas en diferentes industrias.

En 1800 expiró la patente de Watt sobre la máquina de vapor con condensador, lo que dejó el campo abierto a otros inventores y constructores. La innovación más importante fue la utilización de vapor a alta presión, que Watt había considerado peligrosa y difícil con la tecnología existente y que requirió perfeccionamientos tecnológicos en la construcción de las calderas y las máquinas de vapor.

La utilización de vapor a alta presión permitía aumentar la potencia casi sin incrementar el consumo de combustible; también disminuía el tamaño de la máquina de vapor y su costo, para una potencia dada. Las realizaciones más notables de esa época fueron las de Oliver Evans en Estados Unidos y la de Richard Trevithick, un ingeniero inglés que trabajaba en las minas de Cornwall, Inglaterra.

Trevithick construyó una máquina de bombeo de pequeño tamaño pero de gran potencia, con una caldera de hierro colado cuyas paredes medían 38 milímetros de grueso, que alcanzaba una presión de 10 kilogramos por centímetro cuadrado, o sea diez veces más que la presión atmosférica. En 1800 construyó un carruaje movido por vapor. Así se inició la aplicación de la máquina de vapor al transporte terrestre.



APLICACIÓN DE LA MÁQUINA DE VAPOR AL TRANSPORTE 2893647

Sin embargo, la aplicación de la máquina de vapor al transporte comenzó antes; se utilizó primero en los barcos fluviales, en los que el gran tamaño y el peso no eran una limitante tan grande como en el transporte terrestre. Las primeras pruebas de barcos de vapor se hicieron en Francia; en 1783 un vapor dotado de ruedas de paletas, el **Pyroscaphe**, logró remontar un tramo del río Saona, cerca de Lyon. En 1801 Symington, por encargo del Ministerio de la Guerra, de Inglaterra, construyó una máquina de vapor de doble efecto con un cilindro horizontal de unos 56 centímetros de diámetro, y con un mecanismo de biela y cigüeñal que transmitía el movimiento a una rueda de paletas. A pesar de una serie de pruebas satisfactorias con el remolcador **Charlotte Dundas**, la máquina de vapor no se llegó a instalar de forma definitiva. Es sorprendente que la disposición horizontal del cilindro y la acción a través

de la biela y el cigüeñal, que eliminaba el uso del balancín, y hacía más compacta la máquina de vapor, no fuese imitado por las realizaciones subsecuentes a la de Symington.

El estadounidense Robert Fulton, quien había asistido a las pruebas del **Charlotte Dundas**, llevó a cabo posteriores experimentos en Francia, en el río Sena. En 1807 logró el primer éxito comercial en Estados Unidos, con una máquina de vapor construida por Boulton y Watt condujo un vapor de ruedas de paletas por el río Hudson, entre Nueva York y Albania.

El barco de vapor sufrió un cambio decisivo con la sustitución de las ruedas de paletas por hélices. El invento fue hecho simultáneamente por el inglés Francis Pettit Smith y el sueco John Ericsson, quien después de una estancia de 13 años en Inglaterra, se fue a Estados Unidos a vender su idea. En 1843 el **Great Britain** fue el primer vapor de hélice que cruzó el Atlántico.

El empleo de la máquina de vapor en el transporte terrestre se desarrolló paralelamente a su aplicación en los barcos. En 1800, como ya se mencionó, Trevithick utilizó su máquina de alta presión para mover un carruaje. Este inventor también ideó la combinación de la locomotora de vapor y los rieles, que fue muy importante para el desarrollo posterior de los ferrocarriles.

En 1804 Trevithick diseñó una locomotora capaz de arrastrar una carga de 10 toneladas sobre rieles de hierro colado, a lo largo de 15.5 km. Pero el perfeccionamiento decisivo de la locomotora de vapor fue obra del inglés George Stephenson (1781-1848). En 1815 construyó su primera locomotora, llamada **Blucher**, y en 1825, con la colaboración de su hijo Robert, una locomotora de 8 toneladas y cuatro ruedas, para la línea Stockton-Darlington, que hasta esa fecha había usado trenes tirados por caballos. La locomotora de vapor se usó exclusivamente para los trenes de carga.

En 1830, la locomotora **Rocket**, de George y Robert Stephenson ganó el concurso convocado por la línea Liverpool-Manchester, en construcción en esos años. La **Rocket** alcanzó una velocidad de 38.6 km/h con carga y 46.4 km/h sin carga. El 15 de septiembre de 1830, el duque de Wellington inauguró la línea Liverpool-Manchester, el primer servicio público de ferrocarril movido exclusivamente por locomotoras de vapor. La presión de vapor en la **Rocket** era sólo de 2.8 kg/cm², pero tenía importantes innovaciones, como su caldera tubular y su transmisión directa entre el pistón y las ruedas motri-

ces, que sirvieron de modelo para máquinas futuras.

En el desarrollo de la máquina de vapor la técnica se adelantó al conocimiento científico. En la época en que se desarrolló la máquina de vapor, generalmente se consideraba que el calor era un fluido imponderable, llamado calórico, que fluía de los cuerpos calientes a los fríos; aunque algunos científicos como Newton y Boyle habían ya sugerido que el calor estaba relacionado con el movimiento de las partículas de los cuerpos.

Fue un ingeniero y militar francés, Sadi Carnot (1796-1832), quien inició un estudio sistemático de la máquina de vapor y demostró que la eficiencia de una máquina térmica ideal es:

$$\eta = \frac{T_c - T_f}{T_c}$$

Donde:

T_c = Temperatura absoluta de la fuente caliente.

T_f = Temperatura absoluta de la fuente fría.

Este principio constituye una confirmación teórica de las soluciones tecnológicas que Watt encontró para la máquina de vapor.

LA PRIMERA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

El invento de la máquina de vapor contribuyó en forma decisiva al desarrollo de la revolución industrial. Se entiende por Revolución Industrial, en un sentido específico, un periodo histórico de la Gran Bretaña, comprendido entre 1750 y 1830. En esos años se produce en ese país un proceso de cambio de una economía primordialmente agrícola y artesanal a una economía industrial, ésta se caracteriza por el establecimiento de fábricas o manufacturas, en las que los medios de producción son propiedad privada de los industriales y la mano de obra la constituyen obreros que alquilan su fuerza de trabajo.

En un sentido más general, se llama revolución industrial al proceso de industrialización que se produce posteriormente en otros países y que da lugar al sistema económico capitalista.

La revolución industrial fue precedida por el desarrollo del comercio a

escala mundial y la creación de un mercado mundial. A este respecto Adam Smith escribió:

El descubrimiento de América y el del paso a las Indias Orientales por el cabo de Buena Esperanza, son los dos acontecimientos más grandes y de mayor importancia en la historia de la humanidad... Como consecuencia de estos descubrimientos, las ciudades comerciales de Europa en vez de ser manufactureras y transportadoras de una pequeña parte del mundo, se han convertido en las manufactureras de los nuevos y activos cultivadores de América y en las transportadoras y en algunos aspectos también en las manufactureras de casi todas las diferentes naciones de Asia, África y América.

La plata procedente de las minas de México y del Perú jugó un papel muy importante en el desarrollo de este comercio mundial, como lo señala Adam Smith:

La plata del nuevo continente parece ser así una de las principales mercancías por medio de las cuales se lleva a cabo el comercio entre los extremos del viejo continente; es por medio de ella que estas partes distantes del mundo quedan conectadas unas con otras en una gran red.

Los factores principales que favorecieron el inicio y el desarrollo de la Revolución Industrial en la Gran Bretaña fueron los siguientes:

1. La acumulación de capitales como resultado del comercio mundial y especialmente de las exportaciones inglesas de telas de lana y algodón, especialmente a las colonias del imperio inglés, entonces en expansión.
2. Una mano de obra abundante y barata, a causa del desplazamiento de parte de la población campesina por las leyes que autorizaron a los grandes propietarios a cercar sus propiedades, y por el mejoramiento de las técnicas agrícolas y la introducción de nuevos cultivos, lo que aumentó la productividad de la agricultura.
3. El fomento de las innovaciones tecnológicas mediante leyes sobre patentes, y la posibilidad, para los propietarios de las patentes, de explotarlas industrialmente sin tener que someterse a reglamentaciones sobre las relaciones laborales o a los impactos ambientales de las industrias, lo que permitió hacer grandes fortunas en poco tiempo.

La máquina de vapor no fue la causa de la revolución industrial, pero contribuyó a acelerarla y a que alcanzara un grado de desarrollo tal que transformó radicalmente la sociedad en los países industrializados. En el caso de la Gran Bretaña, la disponibilidad de abundantes recursos de carbón, que fue el energético sobre el que se basó el desarrollo de la máquina de vapor, fue otro factor favorable, unido al predominio político que le proporcionó la victoria sobre Napoleón, en la batalla de Waterloo, en 1815.

El ideólogo de esta Revolución Industrial fue Adam Smith (1723-1790), profesor y, al final de su vida, rector de la Universidad de Glasgow. En 1776 publicó su obra más conocida, **La riqueza de las naciones**, en la que afirmó que a través del mecanismo del mercado [*los intereses privados y las pasiones de los hombres*] se combinan, como guiados por una mano invisible, en un sentido [*que es el más conveniente para los intereses de la sociedad en su conjunto*]. Según Adam Smith, a través del mecanismo del mercado y de la competencia entre productores independientes, se regula de manera más efectiva la cantidad de bienes necesarios y el precio más conveniente para el consumidor.

Las teorías de Adam Smith reflejan tanto las condiciones creadas por la Revolución Industrial en la Gran Bretaña, como el gran aumento de productividad que causó; pero no toman en cuenta o más bien consideran inevitable el enorme costo social y humano, representado por las larguísimas jornadas de trabajo, la explotación del trabajo infantil, las condiciones infrahumanas de vida de la mayoría de los obreros y la destrucción del medio ambiente.

Sin embargo, el mismo Adam Smith escribió: [*Ninguna sociedad puede ser floreciente y feliz si la mayor parte de sus miembros son pobres y miserables*]. Pero Adam Smith consideraba que era necesario dejar actuar libremente las fuerzas del mercado para que la economía del país prosperase, continuara el proceso de acumulación de capital y de esta manera se lograra el progreso de la sociedad en su conjunto. Desde su punto de vista, cualquier intervención del Estado para regular el proceso económico resultaría contraproducente.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Derry T.K. y Williams, T.I., *Historia de la tecnología*, Siglo XXI Editores, México, 1978.
2. Ducassé, Pierre, *Histoire des techniques*, Presses Universitaires de France, Paris, 1968.
3. Smith, A. *The Wealth of Nations*, Modern Library, New York, 1937.

CAPÍTULO 6

EL DESCUBRIMIENTO DE LA INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA Y EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA

EL DESARROLLO HISTÓRICO DE LOS CONOCIMIENTOS CIENTÍFICOS DE ELECTRICIDAD Y MAGNETISMO.

E

l desarrollo de los conocimientos científicos de electricidad y magnetismo fue mucho más lento que el correspondiente a otras ramas de la ciencia, como por ejemplo, la mecánica. No es sino hasta el siglo XIX cuando se hacen los descubrimientos fundamentales, y se desarrollan las aplicaciones industriales que han tenido una repercusión importante en la forma de vida moderna.

En primer lugar se pasará revista al desarrollo de los conocimientos de electricidad y magnetismo desde la antigüedad y, en segundo lugar, a los descubrimientos científicos fundamentales que se realizaron en el siglo XIX y sus primeras aplicaciones industriales.

Epoca antigua

En Grecia, en 585 a.n.e., Thales de Mileto expuso las propiedades de atracción del ámbar (*élektron* en griego) y de la magnetita. El ámbar es una sustancia fósil de color amarillo, formada de la resina de pinos; frotada enérgicamente atrae a otros cuerpos, como partículas de polvo, trozos de papel y, súbitamente, también los repele. La magnetita es un óxido de hierro, de color gris oscuro, que está magnetizado en forma natural por el campo magnético de la tierra. Tiene la propiedad de atraer al hierro. Thales de Mileto observó también que la magnetita podía comunicar su propiedad al hierro, que a su vez se convertía en un imán.

En China, el uso de la brújula se remonta al siglo III a.n.e. Los chinos sabían magnetizar el acero mediante el óxido de hierro (magnetita).

Edad Media

Roger Bacon (1214-1294), mencionó las propiedades del ámbar y la mag-

netita. Por su parte, Pierre Perégrin, filósofo e ingeniero francés incorporado al ejército de Carlos I de Anjou, señaló en 1269 las propiedades de una bola de magnetita, sobre la que, con ayuda de una aguja imantada, localizó zonas opuestas de atracción concentrada o sea polos, según escribió en una carta. Construyó numerosas brújulas de pivote y flotantes. Tenía conocimientos del poder de atracción del norte.

Siglo XVII

Gerolamo Cardano (1501-1576), explicó las diferencias entre la atracción del ámbar y de la magnetita.

En 1600, William Gilbert, médico privado de la reina Isabel I de Inglaterra, publicó en latín el tratado **De magnete**, sobre el magnetismo y las propiedades de atracción del ámbar, obra que fue muy leída en su época. Sugirió que la tierra debía ser un imán gigantesco, lo que explicaría la orientación hacia el norte de la brújula. Llamó *eléctricas* a las sustancias que al frotarse se comportaban como el ámbar.

Otto von Guericke, de Magdeburgo, Alemania, construyó en 1660 la primera máquina productora de una carga eléctrica, por fricción de una bola de azufre giratoria, además realizó experimentos con la carga eléctrica.

Siglo XVIII

En 1707, en Inglaterra, Francis Hauksbee construyó una máquina eléctrica de fricción perfeccionada con la que realizó numerosas experiencias. Años más tarde, en 1730, el inglés Stephen Gray, del Colegio de Franciscanos, descubrió que la electricidad se podía conducir enviando una carga de un tubo de vidrio electrizado a una bola de metal, a través de una cuerda de lino. También descubrió que la carga eléctrica no llenaba el cuerpo sino que quedaba en su superficie.

En 1733, en Francia, Charles François de Cisternay Dufay, superintendente de los jardines reales de Versalles en la época de Luis XV, y el abate Nollet, descubrieron que los objetos cargados con el mismo tubo de vidrio se repelían entre sí, en cambio, atraían a los objetos cargados con una varilla de resina electrificada. Concluyeron que existían dos clases de electricidad que llamaron *vitrosa* y *resinosa*, iniciándose así la teoría de los dos fluidos.

En 1745, en Holanda, el profesor Van Musschenbroek y su alumno Cuneus,

de la Universidad de Leiden, desarrollaron la llamada *botella de Leiden*, capaz de acumular una carga eléctrica mayor que la que podía acumularse en una esfera o un tubo de vidrio. La botella de Leiden consistía originalmente en un frasco de vidrio parcialmente lleno de agua, que se cargaba mediante una máquina electrostática y era lo que se conoce actualmente como un condensador. El vidrio constituía el dieléctrico, que separaba el agua cargada de un conductor que originalmente era la mano húmeda del experimentador. La botella de Leiden se perfeccionó mediante la aplicación de una capa exterior de estaño sobre la botella, que constituía una placa del condensador, la otra placa era una capa interior de estaño, que sustituía al agua y que estaba conectada a una esfera de metal exterior, mediante un conductor que atravesaba un tapón aislante.

La diferencia del potencial V entre las dos placas del condensador está dada por la siguiente expresión:

$$V = \frac{Q}{C}$$

Donde:

Q = Carga eléctrica

C = Constante de proporcionalidad, llamada *capacitancia*, que depende de las dimensiones del condensador y de la naturaleza del dieléctrico.

En 1746, Benjamin Franklin en Filadelfia, Estados Unidos, experimentó con la botella de Leiden y propuso la teoría de un solo fluido eléctrico. De acuerdo con esta teoría, un exceso de fluido produce una carga positiva y una deficiencia de fluido produce una carga negativa. Franklin demostró también que el rayo es de naturaleza eléctrica, lo comprobó mediante una experiencia con un papalote. A partir de este experimento diseñó los primeros pararrayos, consistentes en una punta metálica conectada a tierra.

En 1785, Coulomb inventó la balanza de torsión y determinó que las cargas eléctricas que pueden considerarse concentradas en puntos geométricos, actúan entre sí con una fuerza que es directamente proporcional a su magnitud e inversamente proporcional al cuadrado de la distancia entre ellas.

$$f = \frac{Q_1 Q_2}{E_s r^2}$$

Donde:

E_a = Constante de proporcionalidad, llamada *permitividad*, que depende del medio que rodea a las cargas.

Siglo XIX

En 1796, en Italia, Alessandro Volta, quien investigó las experiencias de Galvani con las ancas de rana, desarrolló la pila que lleva su nombre; la pila voltaica consistía en una batería de discos de dos metales disímiles separados por telas humedecidas. De esta manera se dispuso por primera vez de una corriente eléctrica continua, lo que inició la era de las aplicaciones prácticas de la electricidad. La pila fue perfeccionada en Inglaterra por Humphry Davy, quien construyó una *batería* formada por unas 200 placas de zinc y de cobre. La explicación científica del funcionamiento de la pila la expuso en 1840 Faraday, quien sostuvo que la fuente de electricidad residía en una acción química entre el zinc, el cobre y el electrólito.

En 1819, en Holanda, Hans Christian Oersted observó que cuando un hilo metálico, paralelo a una brújula, era recorrido por una corriente, la aguja de la brújula se desviaba; de esto dedujo que una corriente eléctrica crea una fuerza magnética. Así, por primera vez se estableció la relación entre la electricidad y el magnetismo.

En 1820, en Francia, André Marie Ampère presentó el primer análisis cuantitativo del fenómeno observado por Oersted. Descubrió que dos corrientes que circulan en la misma dirección en dos conductores paralelos producen una fuerza de atracción, pero si circulan en sentido contrario producen una fuerza de repulsión. También determinó que una corriente que circula en una bobina produce un campo magnético como el de un imán.

En 1826, Georg Simon Ohm, en Alemania, formuló la ley según la cual en un circuito la corriente es directamente proporcional a la tensión o voltaje e inversamente proporcional a la resistencia del conductor:

$$I = \frac{V}{R}$$

En 1831, Michael Faraday, en Inglaterra, descubrió el fenómeno de la inducción electromagnética, que dio lugar al invento del transformador y del generador eléctrico. Este descubrimiento puede considerarse el punto de partida de los actuales sistemas de energía eléctrica.

FARADAY Y SU DESCUBRIMIENTO DE LA INDUCCIÓN ELECTROMAGNÉTICA

Michael Faraday nació cerca de Londres, el 22 de septiembre de 1791. Su familia fue de condición muy modesta, su padre era herrero y su madre era hija de un granjero de la región. En esa época estaba en su apogeo la Revolución Industrial en Inglaterra, que es el origen de las modernas sociedades industriales. En el continente europeo se producía otro gran cambio social: la Revolución Francesa.

La educación formal de Faraday se limitó a la que recibió entre los 5 y los 13 años. Según su propio relato: *[Mi educación era del tipo más corriente y consistía en lectura, escritura y aritmética, adquirida en una escuela primaria corriente]*. A los 13 años se empleó como mandadero de un librero y al año siguiente fue contratado como aprendiz por el periodo usual de siete años. De esta manera entró en contacto con los libros y se dedicó a instruirse leyendo en sus ratos libres todo lo que pasaba por sus manos, especialmente libros científicos.

Faraday, al término de sus siete años de aprendizaje, trabajó como encuadernador de libros y empezó a asistir a conferencias científicas, entre ellas a un ciclo del eminente químico Humphry Davy, esto lo decidió a dedicar su vida a la ciencia. Para lograr su objetivo, Faraday solicitó a Davy que lo empleara en su célebre sociedad científica Royal Society, de la que éste era presidente. Faraday adjuntó a su petición, como prueba de su competencia, sus notas tomadas en las conferencias de Davy; su solicitud fue aceptada, obtuvo un contrato como ayudante de laboratorio y un cuarto para vivir en los locales de la institución. Así, a los 21 años, Faraday empezó su fecunda y larga carrera de científico.

Pocos años después, Faraday tuvo la oportunidad de viajar por Europa acompañando a Davy, eso le permitió conocer a científicos eminentes como Ampère y Gay-Lussac. En una ocasión vio a Napoleón en París, durante una visita de éste al Senado, Faraday lo describe así:

Se hallaba sentado en una esquina de su carruaje, cubierto casi completamente por una enorme capa de armiño y ocultas sus facciones por un tremendo penacho de plumas que caía de un sombrero de terciopelo; parecía de humor sombrío y algo corpulento. Su carruaje era muy lujoso y catorce lacayos se ubicaban en diversas partes de él.

Los primeros trabajos de investigación en que participó Faraday en la

Royal Society fueron en el campo de la química. En 1827 empezó a dar conferencias en la Royal Institution, actividad que continuó por más de 30 años.

Faraday se interesó en los fenómenos electromagnéticos, estimulado por el descubrimiento de Oersted de los efectos magnéticos de la corriente eléctrica, y por el descubrimiento de Ampère del efecto mutuo entre dos conductores próximos recorridos por corrientes.

En julio, de 1825, Faraday publicó una breve nota sobre su hipótesis y sobre una experiencia para confirmarla, que no tuvo éxito:

Ya que la corriente eléctrica producida por una batería voltaica, al pasar por un conductor metálico afecta a un imán, tendiendo a hacer girar sus polos alrededor del alambre y moviendo así una cantidad considerable de materia, se podía suponer que sobre la corriente eléctrica se ejercía alguna reacción, capaz de ejercer algún efecto visible. Como se esperaba por varios motivos, que al aproximar un polo de un imán potente disminuiría la corriente eléctrica, se realizó el siguiente experimento: se conectaron entre sí los polos de una batería, de placas de cuatro pulgadas, en número que variaba de dos a treinta, mediante un alambre metálico que en una porción estaba arrollado helicoidalmente con numerosas espiras, intercalándose, en otra parte del circuito, un galvanómetro... Se emplearon imanes más o menos poderosos, algunos tanto que doblaron el conductor al intentar pasarlo alrededor de él, pero sin apreciarse ningún efecto sobre el galvanómetro.

Este resultado negativo no desanimó a Faraday. El mismo año realizó la experiencia de introducir un imán en un circuito helicoidal, observando después los efectos de la presencia del imán, con resultados igualmente negativos. En su diario se refiere otro fracaso, el 28 de noviembre de 1825 intentó descubrir la manera de originar una corriente eléctrica en un circuito, mediante la circulación de corriente en otro circuito. Conectó las terminales de una batería mediante un conductor de unos cuatro pies de largo, dispuso paralelamente otro conductor, separado del primero por el espesor de dos hojas de papel, cuyos extremos estaban conectados al galvanómetro. No pudo comprobar el paso de corriente en el segundo conductor, mientras la corriente de la batería circulaba por el primero.

En 1830, Faraday renunció a sus consultas técnicas, que le producían más de mil libras anuales, para dedicarse por completo a la investigación. Esta decisión sorprendente parece indicar su convicción, a pesar de los fracasos de

sus experimentos, de la posibilidad de confirmar su hipótesis de que debería ser posible [obtener electricidad a partir del magnetismo ordinario].

Al año siguiente, Faraday descubrió el fenómeno de la inducción electromagnética. El 29 de agosto de 1831, describió en su diario el siguiente experimento:

Se hizo un anillo de hierro de seis pulgadas de diámetro externo, de sección circular, de unos siete octavos de pulgada de diámetro; se arrollaron sobre él varias espiras de alambre de cobre, estando las espiras aisladas entre sí y del núcleo de hierro mediante bramante e indiana. El alambre estaba dividido en tres secciones, cada una de unos veinticuatro pies de longitud y podían ser conectadas formando un solo conductor o usarse como secciones separadas, cuyo aislamiento se verificó con una batería. Este lado del anillo lo llamaré A. Del otro lado, pero separado por un intervalo, se había arrollado un alambre en dos secciones, que juntas alcanzaban a unos sesenta pies de longitud, arrollado en la misma dirección que el alambre interior. Llamemos a este lado B. Monté una batería de diez pares de placas de cuatro pulgadas cuadradas. Conecté las espiras del lado B de manera que formaran un solo conductor y conecté sus extremos con un alambre de cobre que pasaba a una cierta distancia por arriba de una aguja imantada (a tres pies del anillo de hierro) y luego conecté las terminales de una de las secciones del lado A con una batería. Inmediatamente se observó un efecto perceptible en la aguja, que osciló hasta finalmente recuperar su posición inicial. Al cortar la conexión de A con la batería, nuevamente se observó perturbación en la aguja.

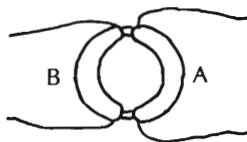


LÁMINA 6. DIBUJO DE FARADAY PARA ILUSTRAR UN EXPERIMENTO.

Faraday había descubierto el principio del transformador eléctrico (lámina 6). Semanas más tarde, el 17 de octubre de 1831, el investigador descubrió que la electricidad podía ser producida moviendo un imán en las proximidades de un arrollamiento:

Se insertó un extremo de un imán cilíndrico lineal de tres cuartos de pulgada de diámetro y ocho pulgadas y media de largo en el extremo de un arrollamiento helicoidal cilíndrico (doscientos veinte pies

de largo), luego se introdujo rápidamente en toda su longitud y la aguja del galvanómetro se movió; luego se retiró y nuevamente se movió la aguja, pero en sentido opuesto. Este efecto se repitió cada vez que el imán era retirado o introducido y por consiguiente se producía una onda de electricidad por la sola aproximación del imán y no por su formación *in situ*.

El 4 de noviembre de 1831, Faraday descubrió que un alambre que se desplazaba entre dos polos magnéticos originaba una corriente:

Si un simple conductor conectado con el galvanómetro, de manera de formar un circuito cerrado, se hace pasar entre los polos, el galvanómetro lo acusa; y moviendo el alambre en uno y otro sentido de manera que los impulsos alternados originados correspondieran con el periodo de oscilación de la aguja, las oscilaciones se pudieron hacer llegar a 20° y 30° a cada lado del meridiano magnético.

Con los dos experimentos antes descritos, Faraday había descubierto el principio del generador eléctrico. En una publicación sobre inducción electromagnética leída ante la Royal Society el 24 de noviembre de 1831, Faraday describió el primer generador eléctrico rudimentario. Consistía en un disco de cobre que podía hacerse girar entre los polos de un par de imanes y cuyo eje se conectaba con un borne de un galvanómetro, manteniéndose un conductor unido al otro borne en contacto con el borde exterior del disco giratorio. El galvanómetro mostraba una desviación constante cuando el disco se hacía girar a velocidad constante. *[En consecuencia aquí se demostró la producción de una corriente estacionaria mediante imanes usuales]*. Faraday inmediatamente imaginó varios dinamos o generadores primitivos, pero no intentó desarrollar ninguno de ellos:

Más que exaltar la importancia de los conocimientos existentes, me he limitado a descubrir nuevos hechos y relaciones referentes a la inducción electromagnética, pues estoy seguro de que aquéllos serán plenamente desarrollados en el futuro.

Gran parte de las características de la sociedad contemporánea, con su uso intensivo de la electricidad, han sido posibles por estos simples experimentos de Faraday, detrás de los cuales están una intuición genial, una gran habilidad para la investigación y una extraordinaria perseverancia y dedicación. Faraday tenía 40 años de edad cuando realizó el descubrimiento de la inducción electromagnética. Su actividad como investigador se prolongó hasta pocos años antes de su muerte, que ocurrió en 1867. Entre otras contribuciones importantes estableció las leyes de la electrólisis y estudió el efecto de un campo magnético en la luz.

El origen social de Faraday y su carencia de educación formal se reflejó en su obra. En toda ella no aparece una sola fórmula algebraica o química, pues se hallaba enteramente al margen de la tradición matemática de las universidades inglesas, entonces sólo accesibles a los miembros de la clase gobernante. Esta tradición había sido fundada antes que el industrialismo llegara a desarrollarse, no fue adaptada a las necesidades de éste sino hasta mediados del siglo XIX.

La obra de Faraday demuestra que en la ciencia el razonamiento inductivo y la experimentación juegan un papel fundamental, y que el rigor de las matemáticas y del razonamiento deductivo pueden complementar esas actividades y enriquecerlas, pero no pueden sustituirlas. Esto se comprobó con la teoría matemática del electromagnetismo que desarrolló Maxwell basándose en las experiencias de Faraday.

MAXWELL Y LA DEDUCCIÓN DE LAS ONDAS ELECTROMAGNÉTICAS

El contraste entre Faraday, quien descubrió experimentalmente el fenómeno de la inducción electromagnética, y Maxwell, quien formuló matemáticamente la teoría del campo electromagnético, es notable. James Clerk Maxwell nació en una familia acomodada de Edimburgo, Escocia, el 13 de junio de 1831, precisamente el mismo año en que Faraday descubrió la inducción electromagnética.

La infancia de Maxwell transcurrió en la propiedad rural de la familia, cercana a Edimburgo. Cuando tenía ocho años falleció su madre, su padre se encargó de su educación. A los diez años entró como interno a estudiar en la Academia de Edimburgo, colegio de reciente creación, donde pasó seis años. Maxwell estudió después tres años en la Universidad de Edimburgo y en 1850, a los 19 años, ingresó a la Universidad de Cambridge, donde se graduó con honores en 1854. Permaneció en Cambridge durante otros dos años; estudió las investigaciones de Faraday que se habían publicado con el título de **Investigaciones experimentales** y realizó estudios sobre matemáticas, óptica y teoría de los colores.

En 1855 y 1856, Maxwell leyó en la Royal Society su obra titulada **Sobre las líneas de fuerza de Faraday**. En este primer trabajo, Maxwell empezó a esbozar la concepción del campo electromagnético; explicó que las líneas de fuerza pueden representarse mediante *[delgados tubos de sección variable, que transportan un fluido imponderable]*. También hizo notar que el estudio matemático de las fuerzas eléctricas y magnéticas se había basado general-

mente en la representación de un modelo en el cual se suponía que estas fuerzas eran análogas a las reacciones entre ciertos puntos; pero el científico propuso basar el tratamiento matemático en la suposición de que las reacciones de las fuerzas son análogas a las existentes en un modelo hidrodinámico que el describió. Señaló que:

Las leyes de las atracciones y efectos de inducción de los imanes y de las corrientes eléctricas pueden imaginarse claramente sin realizar suposiciones respecto de la naturaleza física de la electricidad, y sin añadir nada a lo que ya se conoce por la experimentación.

Ya antes había afirmado: *[No estoy intentando establecer ninguna teoría física de una ciencia en la cual apenas he realizado experimentos]*.

Faraday apreció inmediatamente los trabajos de Maxwell, a quien le confió en una carta fechada el 13 de noviembre de 1857:

Siempre he comprobado que yo podía entender perfectamente sus conclusiones. Las cuales, aunque no me ilustran del todo sobre los pasos de su razonamiento, me presentan resultados, que ni exceden a la verdad ni quedan cortos, y que son de una naturaleza tan clara, que basándome en ellos puedo seguir pensando y trabajando.

En 1856, Maxwell solicitó y obtuvo la cátedra de filosofía natural en el Marischal College de Aberdeen, Escocia, que estaba vacante. Ahí realizó el estudio matemático sobre la naturaleza y la estabilidad de los anillos del planeta Saturno. En esa época empezó su interés en la teoría cinética de los gases, a la que hizo importantes contribuciones.

En 1869, Maxwell fue nombrado profesor de filosofía natural del King's College de Londres, donde permaneció los siguientes seis años, que constituyeron uno de los periodos más creativos de su vida: completó su trabajo sobre la teoría de los colores, desarrolló la teoría sobre la electricidad y el magnetismo e hizo nuevas contribuciones a la teoría cinética de los gases. Sus numerosas actividades científicas no le impidieron impartir clases de divulgación para obreros que se ofrecían en el King's College.

Entre 1861 y 1862, Maxwell publicó cuatro trabajos sobre **Las líneas de fuerza físicas**, en los que precisó sus ideas sobre el campo electromagnético; en uno de ellos escribió:

Los fenómenos electromagnéticos se deben a la existencia de materia bajo ciertas condiciones de movimiento o presión en todas par-

tes del campo magnético, y no de la acción a distancia entre imanes o corrientes.

Durante sus últimos años en King's College, Maxwell redactó la memoria **Teoría dinámica del campo electromagnético**, que fue leída en la Royal Society en 1864 y publicada en 1865, en ella planteó:

...La teoría que propongo puede por lo tanto llamarse teoría del campo electromagnético, porque tiene que ver con el espacio en la vecindad de los cuerpos eléctricos o magnéticos, y puede llamarse teoría dinámica porque supone que en ese espacio hay materia en movimiento, que produce los fenómenos electromagnéticos observados.

Maxwell renunció a su cátedra en 1865 y se retiró a su propiedad campesina en Escocia, donde escribió su gran obra **Tratado de electricidad y magnetismo**, que se publicó hasta 1873.

Desde su retiro, Maxwell apoyó los proyectos para crear tanto una cátedra de física experimental, como un laboratorio de física en la Universidad de Cambridge; ambos proyectos se realizaron en 1871. Maxwell aceptó ocupar la cátedra y organizar el **Laboratorio Cavendish** recién creado, que llevaba el nombre del físico experimental que había trabajado en Cambridge a mediados del siglo XVIII. En los años siguientes, Maxwell dedicó gran parte de su tiempo a la construcción e instalación del laboratorio que, inaugurado oficialmente en 1874, se convirtió en el mejor centro de investigación física de la época. Este científico también publicó los trabajos inéditos de Cavendish.

La contribución más importante de Maxwell a la física fue su teoría del campo electromagnético, en la que dedujo la existencia de ondas electromagnéticas y mostró que la luz es un fenómeno electromagnético. Sin embargo, no vivió para ver la confirmación experimental de su teoría, ya que murió a los 48 años de edad, en 1879, ocho años antes que Hertz comprobara experimentalmente la existencia de las ondas electromagnéticas.

EL DESARROLLO DE LA INDUSTRIA ELÉCTRICA

Como se dijo antes, el invento de la pila voltaica proporcionó la primera fuente de una corriente eléctrica continua, esto aunado al descubrimiento de la inducción electromagnética, realizado por Faraday en 1831, amplió notablemente la posibilidad de generar energía eléctrica y de utilizarla en aplicaciones industriales.

En 1832, Hipólito Pixii, un parisiense fabricante de aparatos de física, que realizó trabajos para Ampère, presentó un generador eléctrico movido a mano. Este generador con bobinas fijas y un imán permanente en forma de herradura que giraba en torno de ellas, estaba provisto de un conmutador para proporcionar corriente continua.

En 1839, Jacobi inventó un motor, consistente en electroimanes, montados sobre un disco móvil, que se atraían y repelían con otros electroimanes fijos. La corriente se enviaba a los electroimanes mediante un conmutador movido por el eje del aparato, así se obtenía la rotación de la parte móvil. Con este motor, alimentado por una batería, equipó un barco que navegó por el río Neva, en San Petesburgo, Rusia. La nave desarrollaba una potencia de unos tres cuartos de caballo.

Sin embargo, a pesar de estos primeros intentos, el desarrollo de las aplicaciones industriales del generador y del motor eléctricos fue relativamente lento. Uno de los primeros generadores eléctricos industriales fue presentado por Werner von Siemens, con el nombre de dinamo, ante la Academia de Ciencias de Berlín, en 1866; mientras tanto su hermano Williams hacía la misma demostración ante la Royal Society en Londres.

En 1870, un hábil obrero de origen belga, Zénobe T. Gramme, presentó un generador formado por un circuito inducido consistente en un anillo de hierro dulce sobre el que enrolló un conductor de cobre aislado, que giraba entre los polos de un imán permanente estacionario. La corriente inducida en la bobina se captaba mediante escobillas metálicas que hacían contacto con un colector montado sobre la flecha de la máquina, así se obtenían una corriente continua. Posteriormente, el imán permanente fue sustituido por un electroimán. La disposición ideada por Gramme permitió reducir el entrehierro entre las piezas polares y el núcleo del inducido, lo que disminuyó notablemente la reluctancia del circuito magnético.

En 1873, durante la Exposición de Electricidad celebrada en Viena, el ingeniero Fontaine accidentalmente se dio cuenta que el dinamo de Gramme era una máquina reversible, que podía funcionar como motor eléctrico. Así los dinamos de Gramme proporcionaron a la industria un aparato práctico para producir y utilizar la energía eléctrica.

Generalmente se considera que los sistemas de energía eléctrica se iniciaron en 1882 con las instalaciones de Edison en Nueva York, aunque existían ya algunas instalaciones de alumbrado que utilizaban lámparas de arco eléctrico.

En un principio, el suministro de energía eléctrica se efectuó mediante corriente continua a baja tensión, se utilizaba el generador de corriente continua (dinamo), desarrollado en 1870 por Gramme; la carga estaba constituida por lámparas incandescentes de filamento de carbón. Hacia 1884 se empezaron a utilizar motores de corriente continua.

Se considera a Marcel Deprez como el precursor de la transmisión de energía eléctrica a alta tensión. En 1881, ante la Academia de Ciencias de París enunció la tesis de que elevando la tensión se puede transmitir una energía eléctrica de cualquier potencia a una gran distancia, con pérdidas mínimas. Al año siguiente, Deprez realizó el experimento de transmitir con corriente continua una potencia de 1.5 kw a una tensión de 2 000 volts, a una distancia de 57 km.

La transmisión con corriente continua a alta tensión tuvo algunas aplicaciones industriales limitadas, de las cuales la más importante fue el sistema Thury que consistía en conectar en serie varios generadores de corriente continua con excitación serie. Estos generadores funcionaban a corriente constante para obtener la tensión de transmisión requerida por la carga, que consistía en motores serie, conectados también en serie. Uno de estos sistemas funcionó en la región de Lyon, Francia, transmitía con una corriente constante de 75 amperes, a una tensión variable, con un máximo de 60 000 volts.

Con el invento del transformador, por Gaulard y Gibbs en 1883, se hizo posible la elevación eficiente y económica de la tensión, por medio de sistemas de corriente alterna. Por esta razón, el sistema de corriente alterna para la generación y la transmisión desplazó al de corriente continua, lo que permitió la transmisión de grandes cantidades de energía eléctrica a grandes distancias. En la distribución también se ha generalizado el uso de la corriente alterna. Por otra parte, la superioridad del motor de corriente continua sobre el de corriente alterna para las aplicaciones de tracción, permite que hasta la fecha se mantengan sistemas de tracción de corriente continua, con tensiones de hasta 3 000 volts. Sin embargo, actualmente se prefiere hacer la alimentación con corriente alterna y realizar la conversión de alterna a continua en las mismas locomotoras.

Los primeros sistemas de corriente alterna fueron monofásicos. En 1884, Gaulard realizó en Turin, Italia, una transmisión de corriente alterna monofásica de 40 km de longitud. En 1886 se puso en servicio en Estados Unidos un sistema de corriente alterna monofásica, se usaron transformadores con tensión primaria de 500 volts y tensión secundaria de 100 volts. Al año siguiente en Lucerna entró en servicio un sistema de transmisión y distribución con co-

riente alterna; en 1888 empezó a funcionar uno semejante en Londres.

En 1883, Tesla inventó las corrientes polifásicas, en 1886 desarrolló un motor polifásico de inducción y en 1887 patentó en los Estados Unidos un sistema de transmisión trifásico. La primera línea de transmisión trifásica se construyó en 1891, en Alemania, con una longitud de 180 km y una tensión de 12 000 volts. Este sistema de corriente alterna trifásica se desarrolló rápidamente, a partir de entonces la cantidad de energía transmitida, la longitud de las líneas y la tensión de transmisión han aumentado constantemente. En la actualidad es de empleo general.

En 1896 se instaló en los Estados Unidos una línea de 25 kv. En 1905, entró en servicio una línea de 60 kv entre la planta hidroeléctrica de Necaxa y la ciudad de México, la que constituyó en aquel momento la tensión más elevada del mundo. En los Estados Unidos, en 1913 las tensiones de transmisión subieron a 150 kv, en 1923 a 220 kv y en 1935 a 287 kv. En 1952 entró en servicio en Suecia un sistema de 400 kv; en 1958, uno de 500 kv en la Unión Soviética; y en 1965, un línea de 735 kv en Canadá. La tensión más alta actualmente en servicio es de 765 kv y están en estudio líneas de más de 1 000 kv.

En años recientes se ha desarrollado un sistema de transmisión con corriente continua a alta tensión. La energía eléctrica se genera con corriente alterna, la tensión se eleva al valor necesario mediante un transformador, y se rectifica para realizar la transmisión con corriente continua; en el extremo receptor se sigue el proceso inverso. Este sistema se pudo realizar gracias al perfeccionamiento de equipos rectificadores e inversores de alta tensión, basados en la válvula de arco de mercurio controlada por rejilla. La primera instalación industrial de este tipo entró en servicio en Suecia en 1954, transmitía 20 000 kw a una distancia de 97 km, a través de un cable submarino a una tensión de 100 kv. Las instalaciones más recientes de equipos de conversión se han realizado con rectificadores controlados de silicio (*thyristores*).

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Crowther, J.C., *Humphry Davy, Michael Faraday*, Col. Austral, Espasa-Calpe Argentina, Buenos Aires, 1945.
2. Crowther, J.C., *J. Prescott Joule, William Thomson, J. Clerk Maxwell*, Col. Austral, Espasa-Calpe Argentina, Buenos Aires, 1945.
3. Devaux, P., *Histoire de l'électricité*, Presses Universitaires de France, Paris, 1963.
4. Shamos, M.H., *Great experiments in physics*, Henry Holt and Co., New York, 1959.

CAPÍTULO 7

EDISON Y LA INGENIERÍA DE SISTEMAS

T

homas Alva Edison nació el 11 de febrero de 1847, en Milán, Ohio, Estados Unidos. Su padre era negociante en madera y su madre, maestra de escuela. Cuando Edison tenía siete años, la familia se mudó a Puerto Huron, Michigan, donde el padre se dedicó con poco éxito al comercio de la madera y de los granos.

A los ocho años, Edison fue enviado a la pequeña escuela del pueblo. Sobre esa época escribió:

Recuerdo que nunca pude adaptarme a la escuela. Siempre era el último de la clase. Me parecía que el profesor no simpatizaba conmigo y que mi padre pensaba que yo era un estúpido.

Su estancia en la escuela fue corta, sólo tres meses, porque su padre no pudo pagar las colegiaturas; a partir de entonces su madre se encargó de su instrucción, le leía obras clásicas, tal vez por eso pronto aprendió a leer bien, aunque nunca escribió con buena ortografía.

A partir de los nueve años, Edison se apasionó por la ciencia, se compró libros de química y se dedicó a experimentar en su cuarto, con el apoyo de su madre y la desaprobación de su padre, quien temía que un día hiciese volar la casa con sus experimentos. Años después, Edison confesó: *[Mi madre fue quien me formó; me entendía y me dejó seguir mis inclinaciones].*

Su educación formal terminó a los 12 años, cuando consiguió un trabajo como vendedor a bordo del tren que circulaba entre Puerto Huron y Detroit. En esa época empezó su sordera, que lo hizo retraído y lo impulsó a estudiar por sí solo. A los 16 años, Edison consiguió empleo como telegrafista en los ferrocarriles. Esto lo impulsó a tratar de mejorar los instrumentos telegráficos, pero sus investigaciones le causaron problemas y le costaron el empleo:

Una noche fui al cuarto de la batería para conseguir ácido sulfúrico para experimentar. El ácido se derramó, atravesó el piso y cayó

sobre el escritorio y la alfombra del gerente. A la mañana siguiente fui convocado por él y me comunicó que la compañía quería operadores, no experimentadores.

A los 21 años, decidido a convertirse en inventor, Edison se trasladó a Boston, donde consiguió empleo como telegrafista de la Western Union. En esa época leyó **Las investigaciones experimentales en electricidad**, de Faraday, que le causaron una profunda impresión. Si Faraday había sido pobre y no había tenido una educación formal, porque no podría él llegar a ser un investigador.

En 1868 solicitó su primera patente, se trataba de una máquina eléctrica para registrar los votos, pero los políticos no se interesaron en el invento. Esta experiencia lo convenció de que sus invenciones deberían orientarse a aquellos campos en los que hubiese una demanda comercial potencial. Con esta idea, Edison perfeccionó un receptor telegráfico para registrar las cotizaciones de la bolsa; a diferencia de su anterior invento, éste fue bien recibido.

Después de estas incursiones por otros campos de la técnica, Edison regresó a su antiguo interés por el telégrafo, pero con poca fortuna, pues produjo un instrumento dúplex que no funcionó. Lleno de deudas, en 1869 decidió trasladarse a Nueva York.

En esa ciudad, un amigo lo admitió en una oficina donde se indicaban las cotizaciones de las acciones. Un día, en medio de una ola de especulación con el oro, el transmisor telegráfico se descompuso y se produjo el caos en Wall Street; Edison reparó el aparato y eso le ganó inmediatamente un empleo. De esa época es este relato de Edison:

Un viernes negro tuvimos una experiencia emocionante con los aparatos indicadores... New Street y Broad Street estaban abarrotadas de gente. Me senté sobre el mostrador de la compañía de telégrafos Western Union para observar a la multitud enloquecida... En medio de una gran excitación Speyer, el banquero, se volvió loco y se necesitaron cinco hombres para sujetarlo; y todo el mundo perdió la cabeza. El operador de Western Union se dirigió hacia mí y me dijo: "Chócala, Edison, estamos hundidos. No tenemos un centavo". Me sentí feliz porque todos éramos pobres. Estas ocasiones son muy felices para un pobre, pero ocurren con poca frecuencia.

Poco después de llegar a Nueva York, Edison modificó un impresor telegráfico para distribuir los precios del oro y la cotización de la libra esterlina,

lo que le produjo ingresos por 5 000 dólares. Sin embargo, el inventor no quedó satisfecho, perfeccionó el registrador de cotizaciones y realizó otros inventos, con estos trabajos ganó 40 000 dólares más. Esto le permitió enviar dinero a sus padres; de esa época es la siguiente carta a su padre:

Me escriben que mi madre no está muy bien y que usted tiene que trabajar muy duro. Creo que ahora puede llevar una vida más descansada. No haga trabajos pesados y déle a mi madre lo que desee. Pueden contar con mi dinero. Escribame y dígame cuánto dinero necesitará hasta junio y les mandaré la cantidad el primero de ese mes.

Edison se convirtió en fabricante de sus máquinas registradoras de cotizaciones con buenos resultados, pues surtió pedidos por cerca de medio millón de dólares. Después de sus fracasos iniciales, sus negocios y sus inventos funcionaban bien, al igual que su vida privada. En 1871, casó con una muchacha de 16 años que trabajaba como obrera en su fábrica. Tuvieron tres hijos. Por esa época perfeccionó el telégrafo dúplex y desarrolló un instrumento cuadrúplex.

A los 31 años de edad, Edison decidió dejar los negocios y dedicarse únicamente a la invención, con este objetivo invirtió 20 000 dólares en la creación de un laboratorio de investigación industrial, en Menlo Park, a 40 km de Nueva York [*en el más bello lugar... de Nueva Jersey*], según escribió en las invitaciones que repartió a sus amigos.

La compañía telegráfica Western Union encargó al inventor un estudio del teléfono que acababa de crear Graham Bell. Poco después, Edison inventó el micrófono de carbón que hizo posible la comercialización del teléfono. En relación con esto, escribió:

Estoy tan sordo que no puedo apreciar las más finas articulaciones y tengo que depender del juicio de otros. Apenas establecí el principio de su funcionamiento cuando ya desde Nueva York empezaron a presionar para introducirlo inmediatamente. Hice dos o tres pares pero encontré que eran difíciles de manejar... He terminado otro par y ha funcionado durante dos días sin necesidad de cambios ni ajustes. Tengo a una persona haciendo un modelo para la Oficina de Patentes, lo que es esencial... Así que puede usted ver que estoy muy ocupado. Trabajo hasta 22 horas al día.

Poco después realizó el invento por el que fue más conocido en su época,

el fonógrafo, que lo hizo famoso en América y en Europa. La prensa lo presentó como el típico héroe norteamericano, el muchacho pobre que triunfa por su propio esfuerzo, y lo llamó *el mago de Menlo Park*. Sin embargo, aún no realizaba lo que seguramente fue su contribución más importante a la tecnología y a la ingeniería modernas: el sistema de suministro de energía eléc-

Dos años después de haber instalado su laboratorio en Menlo Park, Edison decidió abordar el campo de la utilización de la energía eléctrica para iluminación. De esta forma inició una nueva etapa de sus actividades. En lugar de dedicarse únicamente a desarrollar componentes para sistemas existentes, se planteó la tarea de diseñar e integrar componentes discretas en un sistema tecnológico coherente.

Los antecedentes de esta decisión son los siguientes. En julio de 1878 aceptó una invitación para unirse a una expedición científica que iba a viajar a Wyoming para un eclipse total de sol. La invitación se la formuló George F. Barker, profesor de física de la Universidad de Pennsylvania, quien se había interesado en las posibilidades de la incipiente tecnología eléctrica. Durante ese viaje Edison y Barker discutieron el tema y probablemente eso permitió a Edison ponerse al día en lo referente al desarrollo de la nueva tecnología.

A su regreso del viaje, Edison aceptó una invitación de William Wallace para visitar su fábrica de dinamos, o sea de generadores eléctricos de corriente continua. Estos generadores los desarrollaron inicialmente los europeos, primero Siemens quien los comercializó en 1866 y después Gramme, quien los perfeccionó en 1870, mediante la introducción del generador con colector.

Wallace, coinventor con Moses Farmer de la primera dinamo práctica desarrollada en Estados Unidos, estaba interesado en ampliar el campo de sus aplicaciones. Por su parte, Edison adquirió una dinamo Wallace-Farmer con el propósito de utilizarla en sus investigaciones del alumbrado eléctrico. Con ese motivo declaró: *[Ahora que tengo una máquina para producir electricidad, puedo experimentar todo lo que quiera]*.

Otra persona que influyó en forma determinante en la decisión de Edison de desarrollar un sistema eléctrico, fue el abogado Grosvenor P. Lowry, consejero de la compañía telegráfica Western Union, quien apreciaba la capaci-

dad del inventor. Lowry, impresionado por la introducción en París de un sistema de iluminación con lámparas eléctricas de arco, había captado inmediatamente las posibilidades comerciales de la iluminación eléctrica en sustitución de la iluminación con gas, muy extendida en esa época, por lo que propuso a Edison que abordara ese campo de investigación y desarrollo. El inventor respondió favorablemente a la propuesta, pero hizo notar que necesitaría una aportación sustancial de capital. Lowry, que estaba bien relacionado con los medios financieros y políticos de Nueva York, consiguió el apoyo de los banqueros Vanderbilt y Morgan. En octubre de 1878 se fundó la Edison Electric Light Co., con una aportación inicial de 30 000 dólares.

Antes de iniciar el trabajo, Edison tomó dos decisiones fundamentales. Primero, elaborar un sistema de iluminación eléctrica completo, en lugar de dedicarse a desarrollar únicamente componentes tales como las lámparas y las dinamos. La decisión se basaba en que no existían sistemas de alumbrado eléctrico en operación comercial en gran escala; consecuentemente, el mercado para las componentes era muy reducido. Por lo tanto, para tener éxito comercial era necesario crear un sistema totalmente integrado.

En segundo lugar, decidió desarrollar las lámparas incandescentes en lugar de las de arco eléctrico, a pesar que estas últimas tenían ya un desarrollo comercial incipiente. La razón para esto fue la siguiente: los sistemas de iluminación con lámparas de arco usaban un voltaje relativamente alto; además, las lámparas conectadas en serie producían una luz muy brillante que se prestaba para el alumbrado público, pero no podía aplicarse para el alumbrado residencial. Por otra parte, para que la iluminación eléctrica tuviese éxito comercial, tenía que desplazar la iluminación con gas, que entonces dominaba esa aplicación. Las instalaciones de gas para alumbrado público proporcionaban a las compañías de gas únicamente el 10% de sus ingresos, mientras que el 90% restante provenía de la iluminación de casas y oficinas. Edison escribió a ese respecto la siguiente nota:

Electricidad versus gas como iluminante general

Objetivo: Realizar una imitación exacta de todo lo que realiza el gas, para reemplazar la iluminación con gas por iluminación con electricidad. Mejorar la iluminación a tal grado que cumpla todos los requisitos de las condiciones naturales, artificiales y comerciales. Los inventos anteriores han fracasado-necesidad de éxito comercial y de realización. Principal esfuerzo: no hacer una gran luz deslumbradora, sino una luz pequeña que tenga la suavidad de la de gas.

La *subdivisión* de la luz, como se decía entonces, no se había logrado porque no se podían adaptar las lámparas de arco a la iluminación residencial, a causa de las características de esas lámparas. Edison consideró que esa *subdivisión* podía lograrse mediante el desarrollo de una lámpara incandescente.

Por lo tanto, Edison se planteó el problema de diseñar un sistema de iluminación con lámparas incandescentes que fuera superior al existente, que utilizaba gas, tanto en seguridad y comodidad como en precio. No es sorprendente, por ello, que el sistema de Edison se concibiese con una estructura similar al de gas, en muchos aspectos, tales como la estación central para la producción de la energía, la red de distribución e incluso los procedimientos de facturación a los consumidores.

Una vez que tomó las decisiones fundamentales, Edison se organizó para desarrollar el proyecto. Amplió sus laboratorios y los dotó de las máquinas y los aparatos científicos más modernos; organizó una biblioteca y centro de información para estar al corriente de lo que se publicaba sobre el particular en todo el mundo; integró un grupo permanente de colaboradores; y contrató especialistas, cuando lo consideró necesario, para resolver algún problema particular.

La investigación se orientó primero casi exclusivamente al desarrollo de una lámpara incandescente. Este era un enfoque razonable, ya que la lámpara incandescente constituía el único componente importante del sistema que no estaba disponible todavía.

En septiembre de 1878, Edison empezó a experimentar con materiales de elevado punto de fusión, en especial el carbón y el platino. Los filamentos se calentaban hasta la incandescencia por una corriente eléctrica que circulaba por ellos, inicialmente los colocaba en la atmósfera y posteriormente en un recipiente de vidrio en el que se había hecho el vacío, con el objeto de disminuir la radiación del calor y obtener así altas temperaturas con un consumo menor de energía. A pesar del elevado punto de fusión del platino (1 775°C), los filamentos se fundían poco después de alcanzar la temperatura requerida. En cuanto al carbón, cuyo punto de fusión es aproximadamente el doble del correspondiente al platino, presenta una gran afinidad con los gases atmosféricos a temperaturas superiores a 1 700°C. Además, en las condiciones de bajo vacío que utilizó inicialmente Edison, los filamentos tenían también una vida muy corta. Se hicieron también experimentos con iridio y

tungsteno, otros dos metales de muy alto punto de fusión, pero su dureza, que los hacían muy difíciles de manejar, causó que se desechasen. Todas estas primeras lámparas fueron de baja resistencia eléctrica.

A mediados de diciembre de 1878, Edison empezó a analizar la lámpara en el contexto del sistema. Concluyó que para disminuir la corriente en los conductores alimentadores, lo que permitiría disminuir la sección de los conductores y por lo tanto su costo, las lámparas deberían ser de alta resistencia y deberían conectarse en paralelo. Esto lo condujo a pensar en un sistema que operase a un voltaje prácticamente constante, al contrario de los sistemas que alimentaban las lámparas de arco, las cuales se conectaban en serie, por lo que su resistencia debía ser baja y funcionaban con corriente constante. De esta forma, una consideración económica, el costo de los conductores alimentadores, determinó las dos características técnicas principales del sistema de Edison.

Entonces los esfuerzos se dirigieron a desarrollar una lámpara de alta resistencia, usando un filamento de platino. En el transcurso de esta investigación, Edison descubrió que los vapores y gases ocluidos en el platino, que eran expelidos al funcionar la lámpara, disminuían el vacío en el bulbo, lo que afectaba el comportamiento de la lámpara. Después de varias pruebas, Edison determinó que el calentamiento y enfriamiento repetidos del filamento durante el proceso de hacer el vacío en el bulbo, expulsaba los gases ocluidos en el platino y aumentaba la duración del filamento. Después de este descubrimiento, decidió aumentar el vacío en el bulbo, para lo cual consiguió en el Colegio de Princeton una bomba desarrollada por el inventor alemán Sprengel, con la que logró realizar un vacío de una millonésima de atmósfera.

Sin embargo, después de seis meses de trabajo con todos los recursos del laboratorio, Edison no logró desarrollar una lámpara satisfactoria. La noticia de su fracaso causó que subieran las acciones de las compañías de gas, que se habían desplomado cuando el inventor anunció su propósito de desarrollar un sistema de iluminación eléctrica.

A mediados de octubre de 1879, Edison decidió regresar al filamento de carbón. La posibilidad de realizar un alto vacío podía resolver el problema del deterioro del filamento de carbón, a causa de su afinidad con los gases atmosféricos, que lo hacían muy volátil a temperaturas superiores a 1 700°C. Como resultado de numerosas pruebas, se encontró que el mejor filamento de carbón se obtenía carbonizando hilos de algodón:

He descubierto que incluso un hilo de algodón, debidamente carbonizado y colocado en bulbos de vidrio sellados, en los que se hace vacío hasta una millonésima de atmósfera, ofrece de 100 a 500 horas de resistencia al paso de la corriente y que es absolutamente estable a una temperatura muy alta.

En la solicitud de patente presentada el 4 de noviembre de 1879, se describe así la lámpara:

La invención consiste en un cuerpo ligero de cuerda o de lámina de carbón, dispuesto de manera que ofrezca una gran resistencia al paso de la corriente eléctrica, colocado en un vacío casi perfecto para impedir la oxidación y el deterioro causado al conductor por la atmósfera.

Después de 14 meses de trabajo se había logrado desarrollar una lámpara incandescente de aplicación comercial. El esfuerzo había costado una suma muy importante a los que habían financiado la empresa de Edison, pero había abierto el camino a la realización del sistema de iluminación eléctrica. La noticia causó sensación en Estados Unidos y en Europa.

La atención se dirigió entonces a la segunda componente del sistema, el generador o dinamo. Se practicó una evaluación de los generadores disponibles comercialmente, que eran principalmente los de Siemens, de Gramme y de Wallace. Edison y uno de sus asistentes, Francis Upton (físico que había hecho estudios de posgrado en Princeton y había trabajado en la Universidad de Berlín con Hermann von Helmholtz), iniciaron un trabajo intenso sobre el generador, en el verano de 1879.

Las características del sistema implicaban dos requisitos para el generador. Primero, debía suministrar un voltaje constante para el sistema de distribución en paralelo; la mayor parte de los generadores disponibles se usaban en sistemas de iluminación con lámparas de arco eléctrico, en consecuencia, suministraban una corriente constante y tenían los devanados del campo conectados en serie con los de la armadura. El generador de voltaje constante, en cambio, debía tener los devanados del campo conectados en paralelo con los de la armadura. El segundo requisito era la eficiencia; los generadores para los sistemas de alumbrado con lámparas incandescentes, se diseñaban de manera que su resistencia interna fuese igual a la resistencia externa del circuito que alimentaban. Esto aumentaba la potencia producida por la máquina, pero la mitad de las pérdidas por *efecto joule* se producían en el genera-

dor, lo que limitaba su eficiencia a un máximo de 50% y, en la práctica, a eficiencias más bajas.

Como la eficiencia de las lámparas incandescentes era más baja que la de las lámparas de arco, Edison y Upton compensaron esto diseñando un generador con una resistencia interna baja, comparada con la resistencia externa del circuito que alimentaban. Así obtuvieron una eficiencia teórica de cerca de 90%, que con los diseños de la época se redujo a menos de 60%, por las corrientes parásitas en la estructura metálica de la máquina.

El generador adoptado por Edison fue un diseño perfeccionado de un modelo desarrollado por Siemens anteriormente. A continuación, se procedió a desarrollar dispositivos auxiliares, tales como aditamentos para las lámparas, interruptores, fusibles y medidores de energía eléctrica.

Para comprobar el funcionamiento del sistema en su conjunto, se instaló en Menlo Park un sistema en pequeña escala con 425 lámparas. Con base en este sistema, se estimaron los costos de construcción y operación de un sistema comercial y los posibles ingresos que podría proporcionar. Se comprobó que funcionaba bien y que podría competir con los sistemas de iluminación con gas.

Posteriormente, Edison contrató al doctor Herman Claudios, electricista que había trabajado en el cuerpo de telegrafistas de Austria, para proyectar el sistema de distribución eléctrica que alimentaría un distrito de Nueva York. El doctor Claudios construyó un modelo a escala, usó baterías en lugar de generadores y resistencias en lugar de lámparas, para simular el funcionamiento del sistema.

El siguiente problema fue la promoción comercial del nuevo sistema de alumbrado. Edison decidió instalar la primera estación central de producción de energía eléctrica en la calle Pearl, en el distrito financiero de Wall Street. Pero después de salvar los obstáculos tecnológicos y de preparar la promoción comercial, surgieron problemas políticos. Edison había adoptado, por razones de seguridad, un sistema de distribución subterráneo, para instalarlo se necesitaba el permiso del ayuntamiento de Nueva York, a lo que se oponían varios concejales, posiblemente influidos por los poderosos intereses de las compañías de gas.

Aquí intervino de nuevo el abogado Lowry, quien había conseguido el financiamiento para la empresa de Edison. A fines de 1880 Lowry organizó una visita de los funcionarios principales del gobierno de la ciudad de Nueva York a Menlo Park, donde se realizó una demostración del sistema de iluminación eléctrica. El permiso para la instalación fue otorgado en abril de 1881.

Edison describe así una prueba realizada en la central de la calle Pearl en julio de 1882:

Al principio todo funcionó muy bien... Entonces arrancamos otra máquina y la conectamos en paralelo. De todos los circos que han existido desde que nació Adán, tuvimos el peor. Una máquina se paraba y la otra giraba a cien revoluciones y después se ponía a oscilar... Cuando empezó el circo el personal que estaba presente corrió precipitadamente y creo que algunos corrieron hasta una o dos cuadras de distancia.

Tres meses después, sin embargo, todo estaba listo y se inició el servicio eléctrico en ese distrito. Se tenían únicamente 85 consumidores con una carga total de 400 lámparas. La empresa perdió dinero los primeros años, pero a medida que se construyeron nuevas centrales generadoras, el negocio prosperó y Edison obtuvo buenas ganancias. Respecto a esta primera central, Edison escribió:

La estación de la calle Pearl ha sido la realización más grande y más importante de todas las que he emprendido... No tenía paralelo en el mundo... todos los aparatos, dispositivos y partes habían sido proyectados y realizados por nosotros. Nadie sabía lo que podía pasar al hacer circular grandes corrientes eléctricas por los conductores instalados bajo las calles de Nueva York... Todo lo que puedo recordar de los acontecimientos de ese día es el haberme pasado la mayor parte de la noche instruyendo a mi gente y yendo de una parte a otra del sistema... Si alguna vez pensé en mi vida fue ese día.

Las opiniones sobre Edison han variado mucho a través de los años. En su época fue ensalzado por la prensa como un gran inventor, pero después hubo quienes afirmaron que había sido un personaje inflado por la publicidad. Hoy podemos afirmar que Edison fue, sobre todo, un gran ingeniero de sistemas, aunque el concepto de sistema en ingeniería no se formuló explícitamente sino mucho más tarde, después de la segunda guerra mundial.

En efecto, Edison no hizo descubrimientos revolucionarios en la tecnología eléctrica. Un inventor eléctrico inglés, Swan, desarrolló una lámpara incandes-

cente con filamento de carbón casi simultáneamente que Edison y los dos se asociaron para explotar conjuntamente sus patentes; los generadores usados por Edison resultaron de un perfeccionamiento de los desarrollados por Siemens; el sistema de distribución utilizado por Edison había sido propuesto por Sawyer y Man dos años antes.

La gran contribución de Edison al campo de los sistemas eléctricos fue sintetizar los avances científicos y tecnológicos existentes (a algunos de los cuales él había contribuido), en un sistema económicamente viable.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Derganc, C.S., *Thomas Edison and his electric lighting system*, Revista Spectrum, Febrero 1979.
2. Kingsford, P.W., *Electrical engineers and workers*, Edward Arnold, Londres, 1969.

CAPÍTULO 8

EINSTEIN Y LA TEORÍA DE LA RELATIVIDAD

EL PRINCIPIO DE LA RELATIVIDAD EN GALILEO



Galileo analizó los movimientos relativos y absolutos en su obra **El diálogo de los dos grandes sistemas**, escrita en 1632. En la segunda jornada, Salviati, Sagredo y Simplicio discuten el problema en los siguientes términos:

Salvati.— El error de Aristóteles, de Ptolomeo y de vuestro Tycho Brahe y de tantos otros, tiene su raíz en la opinión anclada e inveterada de que la tierra permanece inmóvil. No podéis ni sabéis despojaros de ella, aun cuando queréis filosofar sobre las consecuencias del movimiento terrestre. Así, en uno de los argumentos (el de la piedra que cae de lo alto de una torre), no consideráis que la piedra, cuando está sobre la torre, hace exactamente lo que hace el globo terrestre bajo el efecto del movimiento; conserváis en vuestro espíritu la idea preconcebida de la inmovilidad terrestre; razonáis siempre con respecto a la caída de los cuerpos, como si la piedra hubiera partido de la inmovilidad. Cuando debería decirse: si la tierra está inmóvil, la piedra parte del estado de reposo y desciende perpendicularmente; pero si la tierra se mueve, la piedra se mueve también, y con la misma velocidad; no parte por lo tanto del reposo, sino de un estado móvil igual al de la tierra.

En consecuencia, al movimiento original (común a la tierra y a la piedra), se suma el movimiento de la caída, propio únicamente a la piedra y que se compone con el primer movimiento para dar lugar a un movimiento transversal.

Simplicio.— Pero, ¡por Dios! ¿si se mueve transversalmente cómo es posible que yo la vea desplazarse con un movimiento rectilíneo y perpendicular?

Salvati.— Con respecto a la tierra, a la torre y a nosotros mismos que nos desplazamos conjuntamente, en el movimiento diurno, al mismo tiempo que la piedra, el movimiento diurno es como si no existiera; permanece insensible, imperceptible y sin ninguna acción; sólo resulta observable para nosotros el movimiento en el que no participamos, es decir el de la piedra que cae a lo largo de la torre. No soís el primero que siente una gran resistencia a admitir que el

movimiento no sea perceptible entre las cosas que participan de ese movimiento común...

Sagredo.— ...Si la tierra gira, el movimiento de la piedra, al mismo tiempo que se orienta hacia abajo, sigue un largo trayecto de varias centenas e incluso varios millares de cúbitos y si hubiera podido dejar la traza de su recorrido, habría descrito una línea muy larga transversal; pero la componente de este movimiento, común a la piedra, a la torre y al observador, resulta para nosotros insensible y como inexistente; sólo es observable la componente en la que no participan ni la torre ni el observador, es decir la del movimiento de la piedra a lo largo de la torre.

Más adelante, en este mismo diálogo, Galileo expuso el principio de la relatividad del movimiento, según el cual un observador que forma parte de un sistema, no puede detectar mediante ninguna experiencia mecánica hecha en el interior del sistema, si éste está en reposo o se mueve con movimiento rectilíneo y uniforme:

Salvati.— Encerráos en una gran sala, bien a cubierto, en el fondo de un gran navío; y ahí disponed de una moscas, unas mariposas y otros pequeños animales semejantes; disponed también de un gran recipiente con agua que contenga peces, colgad del techo un pequeño cubo del que el agua, gota a gota, por un orificio, caiga en un jarro de cuello estrecho, puesto en el suelo; con el navío parado, observad cuidadosamente los animalitos volando, los peces nadando indiferentemente por todos lados, las gotas de agua que caen en el jarro situado en el suelo; y vosotros mismos, lanzad cualquier cosa a un amigo y constatad que en cualquier sentido obtendréis el mismo resultado, si las distancias son iguales...

Ahora haced navegar el navío, tan rápido como querráis con tal de que el movimiento sea uniforme, sin oscilaciones de ninguna clase. No podréis discernir ningún cambio en los acontecimientos precedentes y ninguno de ellos os informará si el navío está en movimiento o si está parado: saltando, podréis franquear las mismas distancias... los saltos no serán más grandes hacia la popa que hacia la proa... las gotas de agua caerán como antes en el jarro inferior... los peces en su recipiente con agua y sin mayor fatiga nadarán para uno u otro lado... en fin, las mariposas y las moscas continuarán volando indiferentes en cualquier dirección, sin ser influidas por la marcha y la dirección del navío... la causa de la permanencia de todos esos efectos es que el movimiento uniforme es común al navío y lo que contiene, incluso el aire...

Galileo enunció también el principio de inercia, según el cual un cuerpo se mantiene en reposo o en movimiento rectilíneo uniforme si ninguna fuerza exterior actúa sobre él. En el diálogo mencionado lo expresa así:

Salvati.— En consecuencia, un navío que se desplazase sobre un mar tranquilo constituiría uno de los móviles en movimiento sobre un plano que no sería ni ascendente ni descendente. Eliminando todos los obstáculos accidentales y externos, el navío continuaría moviéndose indefinidamente y uniformemente con la velocidad que se le imprimió inicialmente...

EL ESPACIO Y EL TIEMPO ABSOLUTOS Y RELATIVOS EN NEWTON

Newton analizó también el problema de los movimientos relativos y absolutos. En los **Principia** escribe lo siguiente:

Conviene distinguir el tiempo, el espacio, el lugar y el movimiento en *absolutos y relativos, verdaderos y aparentes, matemáticos y vulgares.*

El tiempo absoluto, verdadero y matemático, sin relación a algo exterior, discurre uniformemente y se llama *duración*. El tiempo relativo, aparente y vulgar, es esa medida sensible y externa de una parte de duración cualquiera (igual o desigual), tomada del movimiento: tales son las medidas de *horas*, de *días*, de *meses*, etc., que se usan ordinariamente en lugar del tiempo verdadero...

El espacio absoluto, sin relación a las cosas externas, permanece por su naturaleza siempre similar e inmóvil. El espacio relativo es esa medida o dimensión móvil del espacio absoluto, la cual cae bajo nuestros sentidos por su relación a los cuerpos y que el vulgo confunde con el espacio inmóvil...

El movimiento absoluto es la traslación de un cuerpo de un lugar absoluto a otro lugar absoluto y el movimiento relativo es la traslación desde un lugar relativo a otro lugar relativo; así en una nave impulsada por el viento...

Nos servimos pues de lugares y de movimientos relativos en lugar de lugares y movimientos absolutos; es adecuado hacerlo así en la vida civil; pero en los asuntos filosóficos, hay que hacer abstracción de los sentidos; puede suceder que no haya ningún cuerpo verdaderamente en reposo, al que se puedan referir los lugares y los movimientos...

Los efectos por los cuales se puede distinguir el movimiento absoluto del movimiento relativo son las fuerzas que tienen los cuerpos que giran para alejarse del eje de su movimiento; pues en el movimiento circular puramente relativo, estas fuerzas son nulas, y en un movimiento circular verdadero y absoluto son más o menos grandes según la cantidad del movimiento.

Si se hace girar en redondo un vaso suspendido de una cuerda hasta que la cuerda, a fuerza de ser torcida, llegue a estar en cierto modo inflexible; si se pone en seguida agua en el vaso y después de

haber dejado tomar al agua y al vaso el estado de reposo, se da a la cuerda la libertad de destorcerse, el vaso adquirirá por este medio un movimiento que se conservará largo tiempo; al comienzo de este movimiento la superficie del agua contenida en este vaso permanecerá plana, así como lo había estado antes de que la cuerda se destorciera; pero después, al comunicarse el movimiento del vaso poco a poco al agua que contiene, esta agua comenzará a girar, a elevarse hacia los bordes, y a hacerse cóncava, como lo he experimentado, y aumentando su movimiento, los bordes de esta agua se elevarán más y más, hasta que, cumpliéndose sus revoluciones en un tiempo igual al que toma el vaso para dar una vuelta entera, el agua estará en un reposo relativo por referencia al vaso. La ascensión del agua hacia los bordes del vaso indica el esfuerzo que hace para alejarse del centro de su movimiento y se puede conocer y medir por este esfuerzo el movimiento circular verdadero y absoluto de esta agua, el cual es enteramente contrario a su movimiento relativo; pues al comienzo, cuando el movimiento relativo del agua en el vaso era el mayor, este movimiento no excitaba en ella ningún esfuerzo para alejarse del eje de su movimiento: el agua no se elevaba sobre los bordes del vaso, sino que permanecía plana, y por consecuencia no tenía todavía el movimiento circular verdadero y absoluto. Cuando en seguida el movimiento del agua llegó a disminuir, la ascensión del agua hacia los bordes del vaso indicaba el esfuerzo que hacía para alejarse del eje de su movimiento; y este esfuerzo, que iba siempre en aumento, indicaba el aumento de su movimiento circular verdadero. Finalmente este movimiento circular fue el mayor cuando el agua estuvo en un reposo relativo en el vaso. El esfuerzo que hacía el agua para alejarse del eje de su movimiento no dependía pues de su traslación de la vecindad de los cuerpos ambientes, y por consiguiente el movimiento verdadero no puede determinarse por tales traslaciones.

Un sistema de referencia que se mueva en línea recta con velocidad uniforme se llama un *sistema de Galileo*. Todos los sistemas que tengan una traslación rectilínea y uniforme con respecto a un sistema de referencia de Galileo, son por lo tanto también *sistemas de Galileo*.

Newton estableció en su primera ley del movimiento que:

Cualquier cuerpo persevera en su estado de reposo o de movimiento uniforme rectilíneo, a menos que sea obligado a cambiar ese estado por fuerzas que actúen sobre él.

Esto constituye una definición del principio de inercia, enunciado por Galileo.

De acuerdo con la segunda ley de Newton:

La alteración del movimiento es siempre proporcional a la fuerza motriz aplicada; y tiene lugar en la dirección de la línea recta en la que se aplica la fuerza.

Por alteración de movimiento, Newton entendía el cambio del *momentum* o sea el cambio del producto de la masa por la aceleración. Si la masa es constante la segunda ley puede representarse por la ecuación:

$$f = m a$$

Donde:

f = Fuerza motriz aplicada.

m = Masa a la que se aplica la fuerza.

a = Aceleración que sufre el movimiento de la masa.

De acuerdo con la ley anterior, si el sistema de referencia se mueve con velocidad uniforme y rectilínea, no hay ninguna aceleración y no se introduce ninguna fuerza por ese movimiento, lo que explica que un observador situado en el interior de un sistema de Galileo no pueda establecer, mediante alguna experiencia mecánica, si el sistema está en reposo o se mueve con movimiento rectilíneo uniforme.

De acuerdo con la mecánica de Newton, puede establecerse de la siguiente manera la relación entre dos sistemas de Galileo que se mueven con distinta velocidad. Sean dos ejes paralelos Ox y $O'x'$ mostrados en la *lámina 7*.

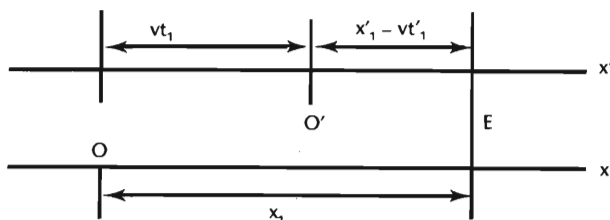


LÁMINA 7. RELACIÓN ENTRE DOS SISTEMAS DE GALILEO.

El eje $O'x'$ se mueve con respecto al Ox con una velocidad constante v . Supóngase que se empieza a contar el tiempo en el momento en que los orígenes de las abscisas, O y O' , coinciden. Sean (x, t) las coordenadas del espacio y del tiempo medidas en el sistema Ox , correspondientes a cierto evento. Para un observador perteneciente al sistema $O'x'$, las coordenadas corres-

pondientes a ese evento serán (X'_1, t'_1) , que se relacionan con las coordenadas medidas en el sistema Ox mediante las siguientes fórmulas:

$$X'_1 = x_1 - vt_1$$

$$t'_1 = t_1$$

EL MOVIMIENTO DE LA TIERRA

En el caso del movimiento de traslación de la tierra en su trayectoria anual alrededor del sol, la tierra se mueve en el espacio vacío con una velocidad de alrededor de 30 km por segundo (108 000 km/h); a pesar que esta velocidad es considerable, la tierra tarda un año en completar su inmensa órbita. Durante un periodo de tiempo corto, por ejemplo unas horas o un día, se puede considerar que el movimiento de traslación de la tierra es uniforme y rectilíneo. Por lo tanto, la tierra en su traslación posee en cada instante las características de un sistema de Galileo con respecto a un sistema de referencia constituido por ejes fijos al sol y dirigidos a las estrellas lejanas.

El principio de la relatividad de Galileo debe aplicarse, por lo tanto, a ese movimiento de la tierra; ninguna experiencia mecánica, hecha en la tierra, podrá detectar ese movimiento. La experiencia comprueba lo anterior: no sólo no notamos que nos movemos con esa enorme velocidad, sino que además ningún experimento mecánico permite discriminar si la tierra gira alrededor del sol, de acuerdo con el *sistema de Copérnico*, o si está inmóvil en el centro del universo, como lo afirmaba el *sistema de Ptolomeo*.

Lo anterior se refiere al movimiento de traslación de la tierra pero no al de rotación. Un cuerpo en rotación no constituye evidentemente un sistema de referencia de Galileo, ya que la rotación produce una aceleración y una fuerza centrífuga, que permite a un observador colocado en ese sistema en rotación detectar el movimiento.

Precisamente a eso se refiere uno de los argumentos que utilizó Ptolomeo para rebatir la teoría de que la tierra giraba sobre su eje, completando una revolución en 24 horas:

Una rueda que gira posee una fuerza centrífuga tanto más intensa cuanto mayor es la velocidad; si la tierra girase en 24 horas como algunos han propuesto, los puntos de su ecuador tendrían una velocidad fantástica y los seres, las casas, las piedras, el agua, serían lanzados por el aire; el suelo mismo volaría en pedazos.

En efecto, un punto del ecuador gira a 450 metros por segundo (1 620 km/h) pero, como lo mostró Huygens en 1669, la aceleración centrífuga es igual al cuadrado de la velocidad tangencial dividida por el radio:

$$a = \frac{v^2}{r}$$

Como el radio de la tierra es muy grande, la aceleración centrífuga resulta muy pequeña. Sin embargo, el movimiento de rotación de la tierra puede detectarse mediante experimentos mecánicos o fenómenos naturales, entre los más conocidos de los cuales se encuentran: el péndulo de Foucault (1851), el giroscopio, la desviación hacia el este de los cuerpos en caída libre, la desviación de los proyectiles hacia la derecha del plano de tiro en el hemisferio norte y el sentido de rotación de los ciclones que giran en sentido contrario a las manecillas de un reloj en el hemisferio norte.

EL EXPERIMENTO DE MICHELSON.

Si bien no es posible poner en evidencia el movimiento de traslación de la tierra mediante un experimento mecánico, los científicos pensaron que sería posible hacerlo mediante un experimento basado en la óptica.

Se ha determinado experimentalmente que la velocidad de la luz en el vacío es de 299 792 kilómetros por segundo. Esta enorme velocidad se designa por la letra c , en la práctica se considera que c es igual a 300 000 km/seg. Esta velocidad es independiente de las condiciones en que se produce la luz (por ejemplo, de la velocidad de la fuente luminosa y del espectro de emisión), también es independiente de las condiciones de recepción.

Un rayo luminoso lanzado en la dirección del movimiento de traslación de la tierra, debería moverse, con respecto a la tierra, a la velocidad $(c-v)$, donde c es la velocidad de la luz y v la velocidad de traslación de la tierra. Otro rayo de luz lanzado en la dirección opuesta al movimiento de traslación de la tierra, debería moverse, con respecto a la misma, a la velocidad de $(c + v)$. De acuerdo con la mecánica clásica, la diferencia entre las velocidades relativas de los dos rayos de luz debería ser de $2 v$.

Para detectar esta diferencia de velocidad, Michelson concibió en 1880 el dispositivo que se representa en la *lámina 8*. El aparato está dispuesto horizontalmente. Un haz luminoso monocromático, producido por la fuente luminosa F incide con un ángulo de 45° sobre el vidrio V , cuya primera cara,

ligeramente plateada, es semitransparente. Una parte del haz luminoso se refleja hacia el primer espejo E_1 (*rayo de luz 1*), mientras que la otra parte atraviesa el vidrio y llega al segundo espejo E_2 (*rayo de luz 2*). Después de reflejarse en E_1 y E_2 , los dos rayos vuelven a V . Parte del *rayo de luz 1* atraviesa V y llega al anteojo A ; parte del *rayo de luz 2* se refleja en V y llega también a A .

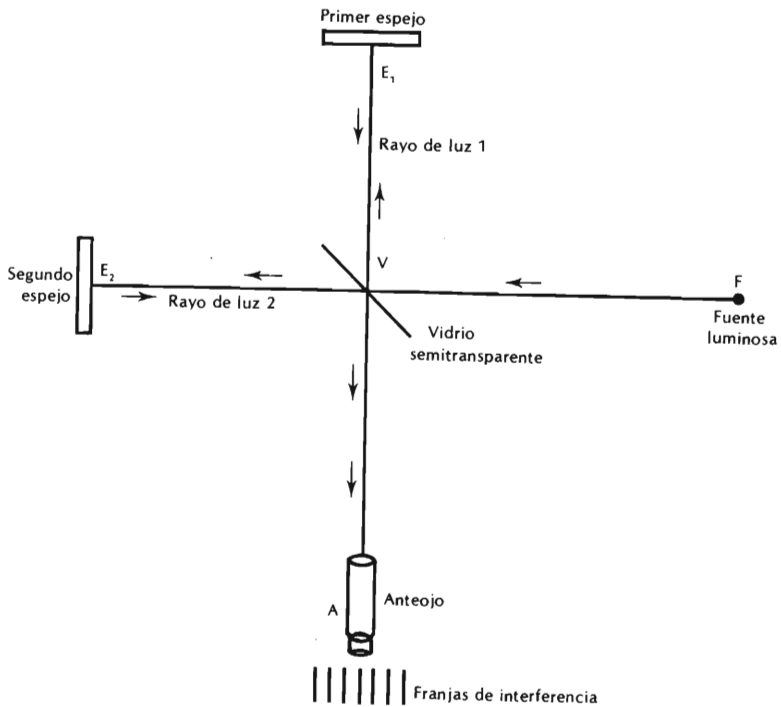


LÁMINA 8. DISPOSITIVO DE MICHELSON

De esta manera, dos rayos de luz procedentes de F se mezclan de nuevo en el anteojo A ; después de los recorridos respectivos FVE_1VA y FVE_2VA , pro-

ducirán franjas de interferencia, alternativamente brillantes y oscuras.

Los espejos E_1 y E_2 están soportados por dos brazos del aparato dispuestos en ángulo recto. Se ajusta la posición de los espejos de manera que en el anteojo A se tenga la franja central de interferencia en el punto de cruce de los hilos de la retícula. Este ajuste permite asegurar que los dos rayos de luz tarden el mismo tiempo en realizar su recorrido. El examen de las franjas es un procedimiento muy preciso para comprobar que la duración de la propagación en el recorrido de ida y vuelta en el brazo VE_1 es exactamente igual a la del recorrido de ida y vuelta VE_2 sobre el brazo perpendicular al anterior. A continuación se gira el aparato 90° , de manera que uno de los brazos ocupe la anterior posición del otro, y así se cambia la posición de los brazos con respecto a la dirección del movimiento de traslación de la tierra.

Si la velocidad de la luz se sumara o restara a la de traslación de la tierra, desaparecería la igualdad en los tiempos de recorrido, y la franja de interferencia central debería desplazarse del cruce de los hilos de la retícula.

En efecto, si por ejemplo el brazo VE_1 tiene una longitud l_1 y la misma dirección que la velocidad de traslación de la tierra, la luz alcanza el espejo E_1 en un tiempo:

$$t_1 = \frac{l_1}{c - v}$$

Al regreso, el tiempo empleado en recorrer $E_1 V$ es

$$t_2 = \frac{l_1}{c + v}$$

El tiempo total de ida y regreso es:

$$t = t_1 + t_2 = \frac{l_1}{c - v} + \frac{l_1}{c + v} = \frac{l_1(c + v) + l_1(c - v)}{c^2 - v^2}$$

$$t = \frac{2l_1 c}{c^2 - v^2} = \frac{2l_1}{\frac{c^2 - v^2}{c}}$$

$$t = \frac{2l_1}{c} \left(\frac{1}{1 - \frac{v^2}{c^2}} \right)$$

Como c es mayor que v , la cantidad contenida en el paréntesis es mayor que la unidad.

Si la tierra estuviese inmóvil:

$$t_i = \frac{2l_1}{c}$$

$$t_i < t$$

Sin embargo, en el experimento de Michelson, al mover los brazos en cualquier dirección no se observó ningún desplazamiento de las franjas de interferencia.

El experimento fue repetido por Michelson y Morley en 1881, con el mismo resultado. Se ha repetido en diferentes épocas, cada vez con mayor precisión en las mediciones, sin poder apreciar ningún efecto de la velocidad de traslación de la tierra. El resultado de este experimento está, por lo tanto, en contradicción con los postulados de la mecánica clásica.

En 1905, Einstein propuso su teoría de la relatividad, que se basa en una crítica lógica de las medidas humanas del espacio y del tiempo, y que proporciona una explicación científica del resultado del experimento de Michelson. La teoría de la relatividad revolucionó la concepción del tiempo y del espacio; también ayudó a realizar una gran síntesis de los conocimientos de la física al unificar el tratamiento de los problemas de la electrodinámica y la mecánica.

BREVE BIOGRAFÍA DE ALBERT EINSTEIN

Albert Einstein nació el 14 de marzo de 1879 en Ulm, en el sur de Alemania, donde su padre dirigía una pequeña fábrica electroquímica. La familia de Einstein, de origen judío, se caracterizaba por su actitud tolerante y humanista, y por una gran afición a la música. Einstein asistió a la escuela primaria católica y después al gimnasio de Munich, o sea el equivalente a nuestros es-

tudios de secundaria y preparatoria. Cuando tenía 15 años, su familia se mudó a Milán, Italia, poco después Einstein ingresó a la Escuela Politécnica Federal de Zurich, donde se graduó en 1900.

En 1902, después de dedicar cierto tiempo a la enseñanza privada, Einstein adquirió la ciudadanía suiza y entró a trabajar en la oficina de patentes de Berna. De acuerdo con el relato del propio Einstein, esos años fueron muy agradables, pues le permitieron disponer de tiempo para desarrollar sus ideas. En 1905 publicó dos importantes trabajos sobre la teoría cuántica y sobre la relatividad.

Cuatro años más tarde, el científico fue nombrado profesor de la Universidad de Zurich; en 1910 ocupó la cátedra de física teórica de la Universidad de Praga; en 1912 regresó a Zurich como catedrático titular de la Escuela Politécnica Federal. A fines de 1913 aceptó un puesto en la Universidad de Berlín, donde enseñaban ya Max Planck y otros científicos famosos. En 1916 publicó su teoría sobre la relatividad general.

Durante la primera guerra mundial, aunque en su calidad de ciudadano suizo no se vio obligado a participar en acciones bélicas, Einstein apoyó el movimiento pacifista. En 1921 recibió el premio Nobel de física, no por sus trabajos sobre la relatividad, que quizás se consideraban demasiado revolucionarios, sino por su trabajo sobre física cuántica en el que explicaba el *movimiento browniano*.

En 1933, después de la ascensión de Hitler al poder, Einstein abandonó Alemania y se instaló en Estados Unidos, en el Instituto de Estudios Avanzados de la Universidad de Princeton. Durante la segunda guerra mundial, a instancias del físico húngaro Szilard, Einstein escribió su histórica carta al presidente Roosevelt, en la que lo advertía del peligro de que los alemanes desarrollaran un arma atómica y lo alentaba a que Estados Unidos se adelantara en ese campo. Este fue uno de los factores decisivos para que se iniciara el famoso **Proyecto Manhattan**, que culminó con la fabricación de las bombas atómicas lanzadas sobre Hiroshima y Nagasaki, que pusieron fin a la guerra con el Japón.

Einstein vivió una vejez solitaria, preocupado por las implicaciones morales de las aplicaciones militares de la energía nuclear, ya que las posibilidades de la fisión y fusión del átomo como una importante fuente de energía, son

otras de las derivaciones de la teoría de la relatividad, resultante de la célebre ecuación:

$$e = mc^2$$

Donde:

e = Energía.

m = Masa.

c = Velocidad de la luz.

Esta ecuación establece la energía considerable que puede liberarse por un cambio de la masa de un cuerpo, causada por una reacción atómica de fisión o de fusión.

A continuación se reproduce una parte del artículo **Sobre la electrodinámica de los cuerpos en movimiento**, publicado por Einstein en 1905. En este trabajo, el científico establece el principio de la relatividad.

1. Definición de sincronismo

Sea un sistema de coordenadas, en el que se verifican las ecuaciones Newtonianas. Para distinguir este sistema de otro que será introducido más adelante, lo llamaremos siempre "el sistema estacionario".

Si un punto material está en reposo en este sistema, entonces su posición en este sistema puede determinarse mediante una regla para medir y puede expresarse por los métodos de la geometría Euclidiana, o en coordenadas Cartesianas.

Si queremos describir el movimiento de un punto material, los valores de sus coordenadas deben expresarse como funciones del tiempo. Debe tenerse siempre en cuenta que esa definición matemática tiene un sentido físico sólo cuando tenemos una noción clara de qué significa tiempo. Tenemos que tomar en cuenta el hecho de que aquellas concepciones nuestras en las que el tiempo juega un papel son siempre concepciones de sincronismo. Por ejemplo, decimos que un tren llega a las 7; esto significa que la indicación exacta de la manecilla pequeña de mi reloj al 7 y la llegada del tren son acontecimientos síncronos.

Puede parecer que todas las dificultades referentes a la definición del tiempo pueden eliminarse cuando en vez del tiempo sustituimos la posición de la manecilla pequeña de mi reloj. Esta definición es en realidad suficiente cuando se requiere definir el tiempo exclusivamente para el lugar donde está estacionado el reloj. Pero la definición no es suficiente cuando se requiere conectar en el tiempo acontecimientos que tienen lugar en diferentes lugares o, lo que equivale a lo mismo, estimar en términos de tiempo la ocurrencia de eventos que suceden en lugares distantes del reloj.

En relación con esta pretensión: la estimación de eventos, podemos quedar satisfechos de la siguiente manera. Supóngase que un observador, estacionado en el origen de coordenadas con el reloj, asocia un rayo de luz que llega a él a través del espacio y da testimonio del evento para el cual se debe estimar el tiempo, con la posición correspondiente de las manecillas del reloj. Pero tal asociación tiene este defecto: depende de la posición del observador provisto del reloj, como sabemos por experiencia. Podemos llegar a un resultado más práctico mediante el siguiente método.

Si un observador está estacionado en A con un reloj, puede estimar el tiempo de eventos que ocurren en la vecindad inmediata de A , mirando la posición de las manecillas del reloj, que están en sincronismo con el evento. Si un observador está estacionado en B con un reloj (debemos añadir que el reloj es de la misma naturaleza que el de A) puede estimar el tiempo de eventos que ocurren en B . Pero sin más premisas, no es posible comparar, en lo que se refiere al tiempo, los eventos en B con los eventos en A . Tenemos por lo tanto un tiempo A y un tiempo B , pero no un tiempo común a A y B . Este último tiempo (o sea el tiempo común) puede definirse, si establecemos por definición que el tiempo que tarda la luz en viajar de A a B es equivalente al tiempo que tarda la luz en viajar de B a A . Por ejemplo, un rayo de luz sale de A en el tiempo de At_A hacia B , llega y se refleja en B en el tiempo de Bt_B y regresa a A en el tiempo de At'_A . De acuerdo con la definición, ambos relojes están en sincronismo si:

$$t_B - t_A = t'_A - t_B$$

Suponemos que esta definición de sincronismo es posible sin que implique ninguna inconsistencia, para cualquier número de puntos, por lo tanto se verifican las siguientes relaciones:

1. Si el reloj situado en B está en sincronismo con el reloj situado en A , entonces el reloj situado en A está en sincronismo con el reloj situado en B .

2. Si el reloj situado en A y el reloj situado en B están ambos en sincronismo con el reloj situado en C , entonces los relojes situados en A y B están en sincronismo.

Así con ayuda de ciertas experiencias físicas, hemos establecido lo que entendemos cuando hablamos de relojes en reposo en diferentes lugares y en sincronismo entre sí; y por lo tanto hemos llegado a una definición de sincronismo y de tiempo.

De acuerdo con la experiencia debemos suponer que la magnitud

$$\frac{2AB}{t'_A - t_A} = C$$

Donde C es una constante universal.

Hemos definido el tiempo esencialmente con un reloj en reposo en un sistema estacionario. Teniendo en cuenta su adecuación al sistema estacionario, nos referiremos al tiempo definido de esta forma

como "el tiempo del sistema estacionario".

2. Sobre la relatividad de la longitud y el tiempo.

Las siguientes reflexiones están basadas en el Principio de la relatividad y en el Principio de la constancia de la velocidad de la luz, los cuales definimos de la siguiente manera:

1. Las leyes según las que la naturaleza de un sistema físico cambia son independientes de la manera en que esos cambios se refieren a dos sistemas de coordenadas que tienen un movimiento de traslación relativo uno con respecto al otro.

2. Cada rayo de luz se mueve en el "sistema de coordenadas estacionario" con la misma velocidad c , siendo la velocidad independiente de la condición en que ese rayo de luz es emitido ya sea por un cuerpo en reposo o en movimiento. Por lo tanto:

$$\text{velocidad} = \frac{\text{trayectoria de la luz}}{\text{intervalo de tiempo}}$$

Donde por "intervalo de tiempo" significamos el tiempo tal como se definió en 1.

Sea un cuerpo rígido en reposo; éste tiene una longitud l , cuando se mide con una regla para medir en reposo; suponemos que el eje de la regla se coloca a lo largo del eje X del sistema en reposo, y entonces se le imparte una velocidad uniforme v , paralela al eje de las X . Investiguemos ahora con respecto a la longitud de la regla en movimiento; ésta puede obtenerse por cualquiera de estas operaciones.

(a) El observador provisto con la regla para medir se mueve con la regla que se va a medir y mide por superposición directa la longitud de la regla, tal como si el observador, la regla para medir y la regla que se va a medir estuvieran en reposo.

(b) El observador encuentra, por medio de relojes colocados en un sistema en reposo (siendo los relojes síncronos de acuerdo a como se definió en 1), los puntos del sistema en los que los extremos de la regla que se va a medir coinciden en un tiempo determinado t . La distancia entre esos dos puntos, medida mediante la regla para medir previamente usada, en esta ocasión en reposo, es una longitud, que llamaremos "longitud de la regla".

De acuerdo con el principio de la relatividad, la longitud encontrada mediante la operación (a), que podemos llamar "la longitud de la regla en el sistema en movimiento" es igual a la longitud de la regla en el sistema estacionario.

La longitud que se encuentra por el segundo método puede llamarse "la longitud de la regla en movimiento medida desde el sistema estacionario". Esta longitud debe apreciarse con base en nuestro principio y encontraremos que será diferente de l .

En la cinemática generalmente aceptada, suponemos implícitamente que las longitudes definidas mediante esas dos operaciones son

iguales, o en otras palabras, que en un instante del tiempo t , un cuerpo rígido en movimiento es geoméricamente sustituible por el mismo cuerpo que lo puede reemplazar en la condición de reposo.

Relatividad del tiempo

Supongamos que los dos relojes en sincronismo con los relojes instalados en el sistema en reposo se llevan a los extremos A y B de una regla, o sea que el tiempo de los relojes corresponde al tiempo del sistema estacionario en los puntos donde se localizan; estos relojes están por lo tanto en sincronismo en el sistema estacionario.

Supongamos además que hay dos observadores en las localizaciones de los dos relojes y que se mueven con ellos, y que esos observadores aplican el criterio de sincronismo a los dos relojes. En el tiempo t_A un rayo de luz sale de A , se refleja en B en el tiempo t_B y llega de regreso a A en el tiempo t'_A . Considerando el principio de constancia de la velocidad de la luz, tenemos:

$$t_B - t_A = \frac{l_{AB}}{c - v}$$

$$t'_A - t_B = \frac{l_{AB}}{c + v}$$

Donde l_{AB} es la longitud de la regla en movimiento, medida en el sistema estacionario. Por lo tanto, los observadores estacionados con los relojes encontrarán que los relojes no están en sincronismo, mientras que el observador localizado en el sistema estacionario declarará que los relojes están en sincronismo. Vemos por lo tanto que no podemos asignar ningún significado absoluto al concepto de sincronismo; dos eventos que son sincrónicos vistos desde un sistema no serán sincrónicos vistos desde un sistema que se mueve relativamente a ese sistema.

Las conclusiones de Einstein pueden resumirse en los siguientes dos postulados:

I. Existe una equivalencia de todos los sistemas de inercia o de Galileo (o sea en movimiento rectilíneo y uniforme), no sólo en dinámica sino en toda la física.

Este postulado amplía el principio de relatividad de Galileo y de Newton e implica que en un sistema de inercia o de Galileo, ninguna experiencia, no sólo mecánica sino física en general, realizada por un observador situado en el sistema, podrá detectar el movimiento rectilíneo y uniforme del mismo.

II. En el vacío, la luz se propaga de forma isotrópica, o sea con la misma velocidad en cualquier dirección, independientemente de las condiciones en

que esta luz se emite por una fuente luminosa en reposo o en movimiento. La velocidad de la luz en el vacío es una constante universal C .

Partiendo de estos postulados, que constatan los resultados del experimento de Michelson, Einstein llegó a la notable conclusión de que la masa de un cuerpo varía con su velocidad, y que la energía de un cuerpo es proporcional a su masa.

De acuerdo con la teoría de la relatividad de Einstein, la relación entre las distancias y los tiempos de dos sistemas que se mueven con distinta velocidad uniforme y rectilínea, como los mostrados en la *lámina 7*, se establece mediante las siguientes expresiones:

$$X'_1 = \frac{X_1 - vt_1}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{C^2}}}$$

$$t'_1 = \frac{t_1 - \frac{v X_1}{C^2}}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{C^2}}}$$

Si la velocidad v , que es la velocidad relativa del sistema $O'X'$ con respecto al sistema OX , es muy pequeña comparada con la velocidad de la luz C , como ocurre generalmente en nuestra experiencia sensible, las expresiones anteriores se reducen a las que ya se habían establecido aplicando la mecánica clásica (pág. 86).

$$x'_1 = x_1 - vt_1$$

$$t'_1 = t_1$$

Resulta así que la mecánica clásica da resultados suficientemente aproximados en todos aquellos casos en que se trata con velocidades mucho menores que las de la luz y queda incluida, por lo tanto, como un caso particular de la teoría más general de la relatividad.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Blanche, R., *El método experimental y la filosofía de la física*, Fondo de Cultura Económica, México, 1975.
2. Couderc, P., *La Relativité*, Presses Universitaires de France, París, 1966.
3. Galileo, *Dialogues et lettres choisies*, Collection UNESCO d'oeuvres représentatives, Herman, París, 1966.
4. Shamos, M.H., *Great experiments in physics*, Henry Holt and Co., Nueva York, 1959.
5. Whitrow, G.J., *Einstein: el hombre y la obra*, Siglo XXI Editores, México, 1980.

CAPÍTULO 9

LA FÍSICA ATÓMICA Y LA ENERGÍA NUCLEAR

EL DESARROLLO DE LA FÍSICA ATÓMICA

Los orígenes de la teoría atómica se remontan a Demócrito, filósofo griego del siglo V a.n.e., quien postuló que todos los cuerpos están formados de partículas indivisibles, a las que llamó *átomos*, que en griego significa precisamente indivisibles. Las distintas propiedades de los átomos se deben a la diferente forma de estos. Según la teoría de Demócrito, en los cuerpos sólidos los átomos están firmemente unidos, lo que causa la rigidez de esos cuerpos; en los líquidos, los átomos están también unidos pero menos firmemente, lo que explica la propiedad de los fluidos de adoptar la forma del recipiente que los contiene; en los gases los átomos están muy separados y en rápido movimiento, lo que les proporciona su capacidad de expandirse rápidamente. Esta concepción no difiere mucho de las teorías modernas.

La física atómica moderna se inició con el descubrimiento de la radiactividad por el químico francés Becquerel en 1896, y con el descubrimiento del electrón, realizado poco después por J. J. Thomson, quien estaba al frente del **Laboratorio Cavendish**, de la Universidad de Cambridge.

J. J. Thomson tomó como base las investigaciones de Faraday sobre el fenómeno de la electrólisis. La interpretación de este fenómeno, a partir de una concepción atómica de la naturaleza, consistía en que la electricidad era transportada en forma de carga eléctrica en los átomos. Los átomos cargados fueron llamados *iones*, de una palabra griega que significa errantes.

Este científico estudió la conducción eléctrica en los gases y trató de identificar los portadores de la electricidad en los mismos. Mediante experimentos en tubos llenos de gas a baja presión, en cuyos extremos se colocaban respectivamente electrodos positivo y negativo, descubrió primero los portadores de carga negativa, que se desplazaban del electrodo negativo al positivo constituyendo lo que se llamó *rayos catódicos*. Estas partículas se despla-

ban a más de un décimo de la velocidad de la luz y eran 2 000 veces más ligeras que los iones de hidrógeno, detectados en la descomposición electro-lítica del agua, pero tenían la misma carga eléctrica, aunque de signo contrario. Thomson anunció en 1867 el descubrimiento de esta nueva forma de materia a la que dio el nombre de *electrón*.

Poco después, el descubrimiento y estudio de portadores positivos en movimiento opuesto al de los electrones en el tubo, confirmó que se trataba de iones ordinarios. Thomson concluyó que como el electrón se había producido al disociarse el átomo de gas, tenía que ser parte componente del átomo. Se planteó entonces el problema de establecer un modelo de átomo.

El problema fue resuelto en 1911 por Rutherford quien habría de suceder a Thomson en la dirección del **Laboratorio Cavendish**, en 1919. Rutherford, mediante un experimento en el que se lanzaban partículas alfa a través de una lámina muy delgada de oro y se medía la desviación que experimentaban esas partículas, concluyó que el átomo estaba formado por un núcleo donde se concentraba la masa del átomo, cuyo diámetro era mucho menor que el diámetro total del átomo, y por los electrones situados en el espacio que rodea al núcleo.

El físico danés Niels Bohr, quien había trabajado una temporada en el **Laboratorio Cavendish**, propuso en 1913 el modelo de átomo en el que los electrones giran alrededor del núcleo en un número limitado de órbitas. Este modelo tuvo mucha aceptación pero resultó insuficiente para la representación de los elementos más pesados. Para resolver este problema, el físico francés De Broglie propuso en 1924 una interpretación ondulatoria del electrón; posteriormente, Schrodinger, físico austriaco y profesor en Zurich, estableció una ecuación que describe en forma completa las ondas estacionarias que reemplazan a las órbitas de Bohr.

En 1926, pocos meses después de aparecer los trabajos de Schrodinger, Max Born, de la Universidad de Gotinga, Alemania, convencido de la naturaleza corpuscular del electrón, interpretó la onda de Schrodinger como una onda de probabilidad, es decir que el cuadrado de la amplitud de onda en cualquier punto del espacio representa la probabilidad de hallar el electrón en ese punto.

Un joven colega de Born en Gotinga, Werner Heisenberg, planteó que la indeterminación que resultaba de la interpretación probabilística de Max Born,

resultaba de la perturbación que en un fenómeno crea el hecho de observarlo. En los fenómenos macroscópicos esta perturbación es inapreciable, pero en la escala atómica no se puede despreciar la perturbación ocasionada por la medición. Esto introduce la incertidumbre en el conocimiento.

El principio de incertidumbre condujo a los físicos de la llamada escuela de Copenhague, influidos por la filosofía de Kierkegaard (en la que un principio fundamental es la creencia en un dualismo entre pensamiento y realidad), a poner en duda el principio de causalidad de la física. Niels Bohr expuso en 1928 su principio de complementariedad, que planteaba el conflicto entre el concepto de descripción y de causalidad. En cualquier instante se podía describir el mundo con la exactitud que se deseara, pero el principio de incertidumbre decía que esa descripción instantánea solo podía hacerse a costa de renunciar a toda relación entre ella y las descripciones instantáneas futuras.

Einstein se negó a aceptar esa interpretación del principio de incertidumbre, posición que se resume con su célebre frase: *[¡Dios no juega a los dados!]*. Einstein aceptaba la teoría matemática de la mecánica cuántica, pero rechazaba la interpretación filosófica de Bohr; consideraba que el mundo físico es una realidad objetiva externa al observador y que implica un comportamiento regido por leyes cognoscibles que no contienen el azar como elemento esencial. Mientras para Bohr la mecánica cuántica era una teoría completa, para Einstein era una teoría aproximada, por lo que se debía tratar de construir una teoría más detallada y profunda de los sistemas atómicos.

LA ENERGÍA NUCLEAR

La física atómica ha establecido que el átomo consiste en un núcleo rodeado de electrones. El núcleo está compuesto por dos clases de partículas: los protones, que tienen una carga eléctrica positiva y los neutrones, que no tienen carga eléctrica; los protones y los neutrones tienen prácticamente la misma masa. Los electrones tienen una carga eléctrica negativa, de igual magnitud pero de signo contrario que la carga eléctrica de un protón y su masa es mucho menor (unas 2 000 veces) que la de los protones y neutrones. El número de electrones de un átomo es igual al de protones de su núcleo, por lo tanto el átomo es eléctricamente neutro. El número de neutrones del núcleo del átomo es generalmente mayor que el número de protones.

Las propiedades químicas de un átomo dependen del número y de la dis-

posición de los electrones y por lo tanto del número de protones contenidos en su núcleo; este número se llama *número atómico*. Por medio de sus electrones los átomos se combinan entre sí para formar moléculas.

Todos los átomos con el mismo número atómico tienen las mismas propiedades químicas, cualquiera que sea el número de neutrones contenidos en su núcleo, pertenecen, por lo tanto, al mismo elemento químico. Existen 92 elementos químicos en la naturaleza, otros 13 han sido creados artificialmente.

Algunos elementos tienen el mismo número de protones, pero difieren por el número de neutrones contenidos en su núcleo. Estos elementos se llaman *isótopos*; sus propiedades químicas son las mismas, pero sus propiedades físicas y nucleares son diferentes. Se conocen 325 isótopos naturales, se han creado artificialmente 1 200. El número total de neutrones y protones contenidos en un núcleo se llama *número de masa*.

Ciertos elementos tienen la propiedad de transformarse por desintegración natural en otros elementos, como resultado de modificaciones producidas en sus núcleos atómicos, emitiendo radiaciones corpusculares o electromagnéticas. Todos los elementos de número atómico superior a 83 son radiactivos; algunos cuyo número atómico es inferior a 83, también son radiactivos.

En 1938, un año antes de que estallara la segunda guerra mundial, los químicos alemanes Otto Hahn y Fritz Strassman, conjuntamente con la física austriaca Lise Meitner, descubrieron el fenómeno de la *fisión nuclear* que, como se comprobó posteriormente, puede liberar cantidades enormes de energía. En realidad la fisión había sido producida desde 1934 por Fermi en Italia y por Irene y Frédéric Joliot-Curie en Francia, pero la interpretación correcta de los resultados de bombardear átomos, utilizando como proyectiles neutrones acelerados mediante campos electromagnéticos, no se estableció sino hasta 1938.

En su experimento Otto Hahn bombardeó uranio con neutrones lentos, esto produjo núcleos de bario, cuya masa es aproximadamente la mitad de la de los núcleos de uranio; este resultado desconcertó al químico alemán. Hahn comunicó por carta su descubrimiento a una antigua compañera de investigaciones, Lise Meitner, quien huyó de Berlín y se refugió en Suecia cuando empezó la persecución de judíos. Esta investigadora, después de analizar la correspondencia de su colega, concluyó que lo que debía haber pasado

era que los núcleos de uranio se habían dividido durante el proceso, es decir *fisionado*, palabra nueva que ella y su sobrino, el físico Otto Frish, emplearon para designar lo que había sucedido.

Niels Bohr se enteró casi inmediatamente del descubrimiento, pues se encontraba en Copenhague, donde trabajaba Frish. En enero de 1939 lo dio a conocer en una reunión científica celebrada en Washington. Varios físicos europeos que habían emigrado a Estados Unidos, entre ellos Wigner y Szilard, se preocuparon porque pensaron que Alemania intentaría construir una bomba atómica. La fisión nuclear en cadena de los núcleos pesados podría convertirlos en núcleos más ligeros, con lo que se obtendría una gran cantidad de energía, que al producirse en forma incontrolada y muy rápida, daría lugar a una explosión de enorme potencia.

En el verano de 1939 los físicos húngaros que trabajaban en Estados Unidos, Szilard y Teller, visitaron a Einstein para proponerle que escribiese una carta al presidente Roosevelt advirtiéndole del peligro de que Alemania se adelantara en la construcción de una bomba atómica. Einstein aceptó y escribió una carta en alemán que fue traducida al inglés por Szilard y enviada a Roosevelt el 2 de agosto. El texto de la carta es el siguiente:

Señor:

Cierto trabajo reciente de E. Fermi y L. Szilard, que me ha sido presentado en forma manuscrita, me induce a pensar que en un futuro muy cercano el uranio podrá transformarse en una nueva fuente importante de energía. Según parece, ciertos aspectos de la situación reclaman vigilancia y, de ser necesario, una actuación rápida por parte de la administración. Por lo tanto considero mi deber someter a su atención los hechos y las recomendaciones siguientes:

En el curso de los últimos cuatro meses se ha visto la posibilidad —por los trabajos de Joliot en Francia, así como los de Fermi y Szilard en América— de iniciar reacciones nucleares en cadena en una gran masa de uranio, con lo que se generarían grandes cantidades de energía y volúmenes importantes de nuevos elementos similares al radio. Parece casi seguro que esto pueda lograrse en el futuro inmediato.

Este nuevo fenómeno conduciría también a la construcción de bombas; puede suponerse, aunque con menos seguridad, que existe la posibilidad de fabricar bombas sumamente potentes de un nuevo tipo. Una sola arma de este tipo, que se transportara en un buque y se hiciera explotar en un puerto, podría destruir todo el puerto junto con cierta fracción del territorio circundante. Sin embargo, es muy posible que estas bombas resulten demasiado pesadas para ser transportadas por avión.

Los Estados Unidos únicamente tienen minerales muy pobres en uranio. Se encuentran buenos minerales en Canadá y en lo que fue Checoslovaquia, y la fuente más importante de uranio se localiza en el Congo Belga. En vista de la situación, quizá le parezca conveniente mantener algún tipo de contacto permanente entre la administración y el grupo de físicos que trabajan en la cuestión de reacciones en cadena en los Estados Unidos. Una posibilidad de lograrlo podría ser que usted se lo encargara a una persona que goce de su confianza y que quizá podría ayudar sin desempeñar un puesto oficial. Su tarea podría ser la siguiente:

1. Tener contacto con departamentos de gobierno, mantenerlos informados acerca de los nuevos adelantos y formular recomendaciones para la actuación del gobierno, prestando atención especial al problema de que los Estados Unidos se encuentren bien abastecidos de mineral de uranio.

2. Acelerar la labor experimental que actualmente se está llevando a cabo dentro de las limitaciones de los presupuestos de laboratorios universitarios, proporcionando fondos, si son necesarios, mediante sus contactos con particulares deseosos de aportar contribuciones a esta causa, y quizá también logrando la cooperación de laboratorios industriales que cuenten con el equipo necesario. Tengo entendido que Alemania ha detenido cualquier venta de uranio de las minas de Checoslovaquia, que ocupó. El que haya actuado en esta forma podría quizás explicarse por el hecho de que el hijo del subsecretario de Estado de Alemania, Von Weizacker, está ligado con el Instituto Kaiser Wilhelm de Berlín, en el que actualmente se vuelven a llevar a cabo algunos de los experimentos alemanes sobre uranio.

Muy atentamente

A. Einstein.

El 19 de octubre de ese año, cuando ya se había iniciado la guerra en Europa, Roosevelt envió a Einstein una breve nota en que señalaba que había encontrado tan importante su información, que había reunido un consejo integrado por el jefe de la Oficina de Normas y por representantes designados por el Ejército y por la Marina para investigar a fondo las posibilidades de su sugerencia con respecto al uranio. Casi de inmediato se formó la Comisión Consultiva del Uranio, con la que Einstein tuvo algún contacto informal, ya que no era miembro oficial; ese contacto terminó en abril de 1940, cuando la comisión fue reorganizada.

Hasta donde se sabe, Einstein no tuvo ningún contacto directo con el proyecto de la bomba atómica, que se desarrolló en Los Alamos, Nevada. El lan-

zamiento de la primera bomba atómica sobre Hiroshima fue una sorpresa para Einstein y lo llenó de aflicción. Desde ese momento hasta su muerte dedicó su tiempo y su prestigio a la causa de salvar a la humanidad de su propia destrucción en un holocausto nuclear. En 1945 escribió:

En vista de que no preveo que la energía atómica resulte una bendición en el futuro cercano, debo decir que, por el momento, constituye una amenaza. Quizás es preferible que así sea. Podrá intimidar al género humano para que ponga orden en sus asuntos internacionales, lo cual indudablemente no pasaría sin la presión del miedo.

El último acto político de Einstein, una semana antes de su muerte, acaecida el 18 de abril de 1955, fue firmar un manifiesto redactado por Bertrand Russell, en el que se exhortaba a los hombres de ciencia a unir sus esfuerzos para prevenir la guerra atómica.

La primera demostración de fisión nuclear sostenida y controlada fue lograda por el físico italiano Enrico Fermi en 1940, en la Universidad de Chicago, lo que abrió paso a las aplicaciones industriales de la energía nuclear.

La utilización industrial de la energía nuclear se obtiene mediante la fisión o ruptura de un núcleo pesado que contiene un gran número de protones y neutrones, como el uranio 235. La fisión se obtiene por el impacto de un neutrón sobre el núcleo, lo que va acompañado por una producción de energía en forma de calor, causada por la pérdida de masa y la producción de productos de la fisión. Simultáneamente se produce la liberación de dos o tres neutrones, que se mueven a velocidades del orden de 20 000 km/seg. Estos neutrones pueden provocar a su vez la fisión de otros núcleos de uranio 235, así se mantiene una reacción en cadena. Para aumentar la probabilidad de colisión de los neutrones con otros núcleos, conviene disminuir su velocidad a 1 km/seg, para lo cual se usa un *moderador*, que en el reactor de Fermi y en los primeros reactores comerciales instalados en Francia e Inglaterra, fue el grafito. En los reactores comerciales actuales se usa como moderador agua normal (también llamada agua ligera), en cuyo caso es necesario enriquecer un poco el uranio, o sea aumentar la proporción de uranio 235, que es el *material físil* y que en la naturaleza representa únicamente el 0.7% del mineral de uranio; o bien agua pesada (deuterio) en cuyo caso no hay que enriquecer el uranio. El uranio 238, que constituye el 99.3% restante del mineral de uranio, no es físil, o sea no se presta a la fisión de su núcleo; pero por captura de un neutrón se convierte en plutonio 239, un elemento artificial que sí lo es. Por esta propiedad, el uranio 238 se llama *material fértil*.

El proceso de fisión produce una gran cantidad de energía en forma de calor, que se utiliza para producir vapor de agua y mover una turbina que a su vez impulsa a un generador de energía eléctrica. La energía obtenida de la fisión de un kilogramo de uranio es equivalente a la que se obtiene quemando 2 800 toneladas de carbón.

Otra forma de obtener grandes cantidades de energía es mediante la fusión de núcleos ligeros, para formar núcleos más pesados. Esta reacción de fusión, que es la que se produce naturalmente en el sol y que se utiliza en la bomba de hidrógeno, requiere de temperaturas muy elevadas, del orden de 100 millones de grados. Para producir la fusión en forma controlada, los núcleos ligeros en forma de plasma deben confinarse a altas densidades y temperaturas durante un periodo suficiente para obtener la fusión.

La investigación y el desarrollo para tratar de demostrar experimentalmente la realización de la fusión nuclear sostenida, se realiza actualmente siguiendo dos procedimientos diferentes. El primero consiste en el estudio de varios sistemas de confinamiento magnético de plasma; el sistema más prometedor actualmente es llamado *Tokamak*, desarrollado inicialmente en la Unión Soviética. El segundo procedimiento consiste en la investigación de la factibilidad de iniciar la fusión nuclear mediante un láser de alta energía y usando confinamientos inerciales, los primeros resultados de carácter preliminar se obtuvieron en Estados Unidos en 1974.

Hay que señalar que la investigación para obtener energía mediante la fusión nuclear no ha alcanzado hasta la fecha un avance comparable al que alcanzó Fermi en 1940, al demostrar la factibilidad de una reacción de fisión sostenida. Los pronósticos más optimistas indican que podría tenerse en operación una planta de demostración de la fusión nuclear, a escala industrial, en los primeros años del próximo siglo.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. CONACYT, ed., *Einstein*, Editorial Ciencia y Desarrollo, CONACYT, México, 1980.
2. March, R.H., *Física para poetas*, Siglo XXI Editores, México, 1977.

CAPÍTULO 10

LA SEGUNDA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Probablemente la mejor manera de abordar el tema de la segunda revolución industrial sea mediante la reproducción de las palabras proféticas de Norbert Wiener, escritas en 1947 durante una de las estancias de este matemático y científico norteamericano en el Instituto Nacional de Cardiología de la ciudad de México. En esta institución, Wiener en colaboración con el científico mexicano Arturo Rosenblueth, estudiaba la aplicación de la cibernética a la fisiología. Dice así ese texto, que remata el prólogo de Wiener a su libro **Cibernética: o control y comunicación en el animal y en la máquina:**

Ha sido claro para mí desde hace tiempo que la moderna máquina computadora ultra-rápida es en principio un sistema nervioso central ideal para un aparato utilizado para el control automático; y que sus entradas y salidas no necesariamente tienen que hacerse en forma de números o diagramas, sino que muy bien pueden ser, respectivamente, las lecturas de órganos sensores artificiales tales como celdas fotoeléctricas o termómetros, y las actuaciones de motores o solenoides. Con la ayuda de estensómetros o dispositivos similares para leer el comportamiento de esos órganos motores y para comunicar, para retroalimentar, al sistema de control central como un sentido del movimiento artificial, estamos ya en posibilidad de construir máquinas artificiales de casi cualquier grado de complejidad o efectividad. Bastante antes de Nagasaki y de la preocupación pública sobre la bomba atómica, se me había ocurrido que estábamos aquí en presencia de otras implicaciones sociales de incalculable importancia para bien o para mal. La fábrica automática y la línea de montaje sin agentes humanos está tan sólo tan lejos de nosotros en el futuro como la limitación que pueda existir en nuestra resolución para desarrollar un grado tal de esfuerzo en su ingeniería como el que pusimos, por ejemplo, en el desarrollo de las técnicas del radar en la segunda guerra mundial.

He dicho que este nuevo desarrollo tiene incalculables posibilidades para bien o para mal. Por una parte, hace del dominio metafórico de las máquinas, tal como lo imaginó Samuel Butler, un problema muy inmediato y no-metafórico. Proporciona a la raza humana una

nueva y muy efectiva colección de esclavos mecánicos para realizar su trabajo. Este trabajo mecánico tiene la mayoría de las propiedades económicas del trabajo esclavo, aunque, a diferencia del trabajo esclavo, no envuelve el efecto directamente desmoralizante de la crueldad humana. Sin embargo, cualquier trabajo que acepte las condiciones de competencia con trabajo esclavo acepta las condiciones del trabajo esclavo, y es esencialmente trabajo esclavo. La palabra clave de esta afirmación es *competencia*. Puede muy bien ser una buena cosa para la humanidad el que la máquina elimine la necesidad de que realice tareas rutinarias y desagradables, o puede no serlo, no lo sé. No puede ser bueno para esas nuevas posibilidades que se planteen en términos del mercado, del dinero que ahorran; y son precisamente los términos de mercado abierto, de "quinta libertad", los que se han convertido en el estribillo del sector de la opinión norteamericana representado por la Asociación Nacional de Fabricantes y el periódico Saturday Evening Post. Digo la opinión norteamericana, porque como norteamericano, la conozco mejor, pero esas prácticas no reconocen fronteras.

Quizás pueda aclarar el trasfondo histórico de la presente situación si digo que la primera revolución industrial, la revolución de las "oscuras fábricas satánicas" fue la devaluación del brazo humano por la competencia de la maquinaria. No hay salario con el que pueda vivir un trabajador de pico y pala en los Estados Unidos que sea lo suficientemente bajo para competir con el de una pala de vapor en la excavación. La revolución industrial moderna está similarmente destinada a devaluar el cerebro humano, por lo menos en sus decisiones más simples y rutinarias. Naturalmente, de la misma manera que el carpintero hábil, el mecánico hábil, el sastre hábil, han sobrevivido en cierto grado a la primera revolución industrial, el científico hábil y el administrador hábil podrán sobrevivir a la segunda. Sin embargo, suponiendo la segunda revolución industrial realizada, el ser humano promedio de realizaciones mediocres o menos que mediocres no tendrá nada que vender que valga la pena de ser comprado.

La respuesta, naturalmente, es tener una sociedad basada en valores humanos distintos de comprar y vender. Para llegar a esa sociedad, necesitamos mucha planeación y mucho esfuerzo, que, en el mejor de los casos, pueden llegar a traducirse en el plano de las ideas, y si no ¿quién sabe qué puede pasar? Por esto sentí que era mi obligación comunicar mi información y comprensión del problema a aquellos que tienen un interés activo en la condición y el futuro de los trabajadores, o sea a los sindicatos. Logré establecer contacto con una o dos personas situadas en niveles altos del C.I.O.* y recibí de

* C.I.O. Congress of Industrial Organizations, agrupación sindical que posteriormente se fusionó con la American Federations of Labours (A.F.L.) para formar la AFL-CIO. Nota del compilador.

ellos una atención muy inteligente y receptiva. Aparte de esos individuos, no fue posible ni para mí ni para ellos avanzar. Fue su opinión, tal como había sido mi observación e información previas, tanto en Estados Unidos como en Inglaterra, que los sindicatos y el movimiento obrero están en manos de personal muy limitado, muy bien entrenado en los problemas especializados de las relaciones laborales y de los conflictos referentes a salarios y condiciones de trabajo y totalmente impreparados para abordar las cuestiones políticas, técnicas, sociológicas y económicas más amplias, que conciernen a la misma existencia de los trabajadores. La razón de esto es fácil de ver: los dirigentes sindicales generalmente pasan de la vida absorbente de un obrero a la vida absorbente de un administrador sin ninguna oportunidad para adquirir un adiestramiento más amplio y para los que tienen este adiestramiento, una carrera sindical no resulta generalmente atractiva; ni son, como es natural, los sindicatos receptivos a este tipo de personas.

Aquellos de nosotros que han contribuido a la nueva ciencia de la cibernética, estamos en una posición moral que es, por lo menos, no muy comfortable. Hemos contribuido a la iniciación de una nueva ciencia que, como he dicho, abarca desarrollos técnicos con grandes posibilidades para bien y para mal. Solo podemos entregarla en el mundo que nos rodea, y éste es el mundo de Belsen* e Hiroshima. No tenemos ni siquiera la elección de suprimir estos nuevos desarrollos técnicos. Pertenecen a nuestra época, y lo que cualquiera de nosotros puede lograr al tratar de suprimirlos es poner el desarrollo del tema en manos de aquellos ingenieros más irresponsables y más venales. Lo mejor que podemos hacer es tratar de que un público extenso entienda la tendencia y las implicaciones del trabajo presente, y limitar nuestros esfuerzos personales a aquellos campos, como la fisiología y la psicología, los más remotos de la guerra y de la explotación. Como hemos visto, hay quienes esperan que el beneficio de una mejor comprensión del hombre y la sociedad que ofrece este nuevo campo de trabajo pueda anticipar y compensar las contribuciones incidentales que hacemos a la concentración del poder (que siempre está concentrado, por su misma razón de ser, en las manos de los menos escrupulosos). Escribo en 1947, y me veo obligado a decir que es una esperanza muy débil.

Noviembre de 1947.

Instituto Nacional de Cardiología, Ciudad de México.

Este texto extraordinario de Wiener planteó con mucha anticipación y con una gran clarividencia, la causa profunda de la crisis que están viviendo ac-

* Campo de concentración nazi donde murieron miles de personas. Nota del compilador.

tualmente las sociedades industriales, con su secuela de desempleo humano masivo.

¿Cuáles han sido los factores científicos y técnicos que han conducido a este proceso de automatización industrial? Fundamentalmente tres: el desarrollo de la cibernética, el progreso de la electrónica y el advenimiento de las computadoras digitales. Describiremos a continuación brevemente estos tres campos de la ciencia y la tecnología.

LA CIBERNÉTICA

El doctor Wiener relata en el prólogo de su libro **Cibernética: o control y comunicación en el animal y la máquina**, publicado en 1947, cómo apareció la palabra cibernética:

Así, hace unos cuatro años, el grupo de científicos entre los que nos contábamos el Dr. Rosenblueth y yo había ya llegado a la conclusión de la unidad esencial del conjunto de problemas referentes a la comunicación, el control y la mecánica estadística, ya fuese en la máquina o en el tejido vivo. Por otra parte, estábamos seriamente obstaculizados por la falta de unidad de la literatura referente a estos problemas, y por la ausencia de una terminología común, o incluso un nombre único para ese campo. Después de largas consideraciones, llegamos a la conclusión que toda la terminología existente estaba demasiado sesgada hacia un lado u otro para servir al futuro desarrollo del campo en forma efectiva; y como ocurre tan frecuentemente a los científicos, nos vimos forzados a acuñar finalmente una expresión neo-griega artificial para llenar esa necesidad. Decidimos llamar a todo el campo del control y de la teoría de la comunicación, ya fuese en la máquina o en el animal, con el nombre de *Cibernética*, que formamos del griego *χθβερνητης* o piloto. Al elegir ese término, queríamos reconocer que el primer trabajo significativo sobre mecanismos con retroalimentación es un artículo sobre gobernadores (reguladores de velocidad), publicado por Clerk Maxwell en 1868, y que gobernador se deriva de una corrupción latina de *χθβερνητης*. También queríamos referirnos al hecho de que las máquinas de un barco son sin duda una de las primeras y mejor desarrolladas formas de mecanismos con retroalimentación.

Aunque el término *cibernética* no existía antes del verano de 1947, encontramos conveniente usarlo al referirnos a épocas anteriores del desarrollo de ese campo. Desde 1942, más o menos, el desarrollo del tema progresó en varios frentes. Primero las ideas de un escrito conjunto por Bigelow, Rosenblueth y Wiener fueron dadas a conocer por el Dr. Rosenblueth en una reunión celebrada en Nueva York en 1942, bajo los auspicios de la Fundación Josiah Macy y dedicada

a problemas de inhibición central en el sistema nervioso. Entre los presentes en esa reunión estaba el Dr. Warren McCulloch, de la Escuela de Medicina de la Universidad de Illinois, que ya había estado en contacto con el Dr. Rosenblueth y conmigo y que estaba interesado en el estudio de la organización del córtex del cerebro.

En este momento interviene un elemento que ocurre repetidamente en la historia de la cibernética: la influencia de la lógica matemática. Si tuviese que elegir un santo patrón para la cibernética, elegiría a Leibniz. La filosofía de Leibniz se centra en dos conceptos estrechamente relacionados: el de un simbolismo universal y el de un cálculo para razonar. De éste desciende la notación matemática y la lógica simbólica de la actualidad. Así como el cálculo de la aritmética se presta a una mecanización que progresa a través del ábaco y la calculadora de escritorio a las máquinas computadoras ultra-rápidas del presente, el "calculus ratiocinator", de Leibniz contiene un germen la "machina ratiocinator", la máquina de razonar. Además, Leibniz mismo, como su predecesor Pascal, estaba interesado en la construcción de máquinas computadoras. No es, por lo tanto, sorprendente que el mismo impulso intelectual que ha conducido al desarrollo de la lógica matemática, haya conducido al mismo tiempo a la mecanización ideal o real del proceso de pensamiento.

Este texto de Wiener constituye una excelente introducción al tema de la cibernética y da una idea de lo ambicioso de su proyecto que, de acuerdo con una frase de su autobiografía, aspiraba a dar *[una nueva interpretación del hombre, de su conocimiento del universo y de la sociedad]*.

La cibernética, en un sentido más restringido y relacionado con la ingeniería, comprende actualmente la teoría del control automático; la teoría de la información, incluso los aspectos de teletransmisión de información; y la aplicación de esos conceptos al diseño de máquinas automáticas, incluyendo el diseño y programación de las computadoras digitales, y su aplicación al control en tiempo real.

LA ELECTRÓNICA

El desarrollo de la electrónica está inicialmente ligado al de las comunicaciones eléctricas, aunque después su aplicación se extiende a otros campos, como el del control automático, las computadoras y diversas aplicaciones industriales.

El telégrafo eléctrico se desarrolló industrialmente a mediados del siglo XIX principalmente por Cooke y Wheatstone en Inglaterra, y por Morse en Estados Unidos, a quien se debe el código utilizado universalmente. El telégrafo

se extendió primero mediante líneas terrestres, generalmente paralelas a los ferrocarriles, pero después se amplió también con cables submarinos. En 1850, un cable telegráfico submarino unió a Inglaterra con Francia y en 1865, después de varios intentos fallidos, se instaló un cable telegráfico entre Inglaterra y Estados Unidos.

El desarrollo del teléfono, que permitió transmitir la voz humana, se debe principalmente al norteamericano Alexander Graham Bell, quien lo patentó en 1876.

El campo de las telecomunicaciones se amplió notablemente con la utilización de las ondas electromagnéticas. En 1873, Clerk Maxwell publicó su **Tra-tado de electricidad y magnetismo**, en el que desarrolla la teoría matemática de los fenómenos de inducción electromagnética, descubiertos por Faraday en 1831. En su estudio, Maxwell estableció los conceptos de campo eléctrico y campo magnético, y concluyó que debían de existir ondas electromagnéticas, mediante las que la energía electromagnética se transportara a través del espacio, a una velocidad igual a la de la luz.

La comprobación de la teoría de Maxwell se debe al físico alemán Heinrich Hertz. Tras su nombramiento como profesor de física en la Universidad de Karlsruhe, en 1885, Hertz se dedicó a tratar de verificar experimentalmente la teoría de Maxwell. Hertz utilizó una bobina recorrida por una corriente eléctrica, mediante la cual producía una descarga eléctrica entre dos esferas metálicas; comprobó que estas descargas se detectaban en otro circuito, que no estaba conectado al primero. Ese circuito consistía en un anillo de cobre cortado y terminado en dos puntas muy próximas, donde se producía una pequeña descarga eléctrica correspondiente a la descarga eléctrica en el circuito emisor. Hertz encontró que la diferencia esencial entre las ondas electromagnéticas y luminosas radicaba en la longitud de onda. En sus experimentos usó una longitud de onda de aproximadamente 24 centímetros, que corresponde a una frecuencia del orden de unos mil ciclos por segundo.

Pero Hertz no se interesó en las posibles aplicaciones prácticas de su proyecto. No fue sino hasta 1895 cuando Rutherford transmitió un mensaje a una distancia de 1 200 m en Cambridge, Inglaterra, mediante ondas electromagnéticas. Sin embargo el desarrollo industrial de lo que se llamó telegrafía sin hilos se debe al italiano Guglielmo Marconi.

En 1899, Marconi transmitió a través del Canal de la Mancha un telegrama,

y el 12 de diciembre de 1901 logró enviar una señal a través del Atlántico. La telegrafía inalámbrica se desarrolló para comunicarse con los barcos, a través de los océanos, pero en las comunicaciones terrestres siguió predominando la línea de transmisión telegráfica.

Hasta principios del presente siglo estos sistemas de comunicación estaban formados de elementos electromecánicos. El descubrimiento de los electrones y el invento de la válvula al vacío, que surgió en 1879 gracias en parte a las experiencias del físico inglés Williams Crookes, abrieron nuevas posibilidades para realizar los circuitos de los sistemas de comunicación.

En 1904, el ingeniero inglés John A. Fleming desarrolló una válvula al vacío, lo que constituyó un *diodo*, para aplicarla en los detectores de ondas electromagnéticas. En 1913, el norteamericano Lee de Forest inventó una válvula al vacío con tres electrodos, llamada *triode*, capaz de realizar funciones de amplificación de señales.

El desarrollo de las comunicaciones basado en las válvulas electrónicas o *bulbos* cobró gran importancia. En 1906, a la telegrafía sin hilos o radiotelegrafía se añade la radiotelefonía; en 1920 se inicia la radiodifusión; en 1935 aparece la televisión, seguida por la comunicación de la voz por medio de cables submarinos, en 1956, y la retransmisión mediante satélites, en 1962.

El uso del diodo, el triodo y otras válvulas o tubos electrónicos pronto rebasó el campo de las comunicaciones. Por ejemplo, se emplearon para la conversión de corriente alterna en corriente continua y para aplicaciones industriales del control automático. En Inglaterra, durante la segunda guerra mundial, la electrónica intervino también en el desarrollo del radar, que sirvió como antecedente a la investigación en otros campos como el del láser.

El invento del radar condujo también al desarrollo de lo que se llama *electrónica de estado sólido*. Como el diodo de Fleming no funcionaba bien con las frecuencias ultra altas empleadas en el radar, se dirigió la atención al diodo semiconductor.

La cualidad de los materiales semiconductores de permitir la circulación de la corriente mucho más fácilmente en un sentido que en el otro, era ya conocida; en los primeros aparatos de radio se utilizó como detector un cristal de sulfuro de plomo o galena, que después fue desplazado por el diodo de los tubos al vacío.

El desarrollo de la física del estado sólido y de los procesos de fabricación de semiconductores, condujo primero al desarrollo de los *diodos de cristal* de la década de los años cuarenta. Posteriormente, tres investigadores de los Laboratorios Bell de Estados Unidos: John Bardeen, Walter Houser Brattain y William Schockley, desarrollaron el *transistor*, por cuyo descubrimiento recibieron el premio Nobel de física en 1956. Ese transistor llamado de punto de contacto, que era más pequeño que los tubos electrónicos, realizaba las funciones de la válvula al vacío del triodo, sin necesidad de realizar el vacío, ni de elementos de calentamiento, ni de altos voltajes.

Los transistores actuales, que han sustituido a los tubos electrónicos, son muy distintos a los originales de punto de contacto, consisten en la unión de materiales ligeramente disímiles. Además, se han desarrollado técnicas automáticas de fabricación, que permiten tanto la producción de millones de unidades con un control de calidad de los materiales componentes, como la realización del transistor con una precisión extraordinaria.

El siguiente avance de la electrónica fue la miniaturización de los componentes, que fue impulsada en gran medida por el programa espacial, principalmente en Estados Unidos. Aparte de la miniaturización, consecuencia del invento del transistor, el desarrollo de los circuitos integrados condujo a lo que algunos han llamado subminiaturización. Los componentes de los circuitos electrónicos, como resistencias, condensadores y conexiones, se han sustituido por circuitos impresos que se realizan mediante técnicas fotográficas y químicas. Esto ha conducido a la producción en masa no sólo de componentes, sino también de circuitos integrados, mediante técnicas automáticas de gran precisión.

LAS COMPUTADORAS DIGITALES

La primera máquina de calcular se debe al matemático y filósofo francés Blaise Pascal (1623-1662), quien inventó una máquina sumadora, realizada mediante ruedas dentadas, que fue utilizada por la oficina de recaudación de impuestos de Rouen. El filósofo y matemático alemán Leibniz (1646-1716) concibió una máquina para sumar y multiplicar.

En el siglo XIX el matemático inglés Charles Babbage (1792-1871) inventó una máquina de calcular a la que llamó *máquina analítica*, capaz no sólo de realizar las cuatro operaciones de la aritmética, sino también de asociar estas operaciones en una secuencia dada. Babbage pensó en utilizar tarjetas perfo-

radas para proporcionar la información de entrada a la máquina, como ya se empleaban en el telar mecánico automático de Jacquard. Durante la exposición universal de Londres, en 1851, el matemático presentó las diferentes partes componentes de la máquina, pero ésta no llegó nunca a armarse, ya que no fue posible superar las limitaciones de la tecnología mecánica de su tiempo.

Años después, en 1890 Herman Hollerith utilizó por primera vez las tarjetas perforadas para procesar datos numéricos con una máquina calculadora de su invención. Esta máquina se empleó para realizar el cómputo del censo realizado ese año en Estados Unidos. Por esa época, Bourroghs construyó la primera máquina sumadora con registro que tuvo éxito comercial, operaba con manija.

A partir de 1925, un grupo de investigadores del Instituto Tecnológico de Massachusetts, dirigido por el ingeniero electricista Vannevar Bush, desarrolló una computadora analógica dedicada a la solución de ecuaciones diferenciales, que recibió el nombre de *analizador diferencial*. Se trataba de una máquina electromecánica, a base de engranes, palancas y levas movidos por partes eléctricas como motores y relés. Un modelo perfeccionado, que se terminó en 1942, constituyó la primera máquina programada, al incorporarse un programa automático de cálculo.

Por otra parte, en 1937 el físico Howard Aiken, de la Universidad de Harvard, encabezó un proyecto patrocinado por la Compañía IBM para desarrollar una computadora digital que prolongaba las ideas de la máquina analítica de Babbage. Este proyecto culminó con la construcción de una computadora digital con programa automático, que empezó a funcionar en la Universidad de Harvard en 1942. Se trataba de una máquina electromecánica, en lo que se parecía a la del Instituto Tecnológico de Massachusetts, pero su capacidad de cálculo era mucho mayor. Las instrucciones se proporcionaban a la máquina mediante una cinta perforada.

Hacia 1940, Norbert Wiener, quien había estado asociado desde hacía tiempo con el doctor Vannevar Bush en el programa de máquinas calculadoras, consideraba que las futuras calculadoras deberían cumplir con los siguientes requisitos:

1. Que el aparato central para la adición y multiplicación de la máquina computadora debería ser numérico, como en las máquinas sumadoras ordinarias, en lugar de basarse en mediciones, como en el

analizador diferencial de Bush.

2. Que esos mecanismos, que son esencialmente dispositivos de conmutación, deberían depender de tubos electrónicos en lugar de engranes o relés mecánicos, para lograr una acción rápida.

3. Que, de acuerdo con la política adoptada en algunos aparatos existentes en los Laboratorios de la Bell Telephone, sería probablemente más económico en los aparatos adoptar la escala de dos para la adición y multiplicación, en lugar de la escala de diez.

4. Que toda la secuencia de operaciones se debería poner en la máquina misma, de manera que no hubiese ninguna intervención humana desde el momento en que se hicieran entrar los datos hasta que se obtuvieran los resultados finales, y que todas las decisiones lógicas necesarias para ello deberían incorporarse en la máquina misma.

5. Que la máquina debería contar con un aparato para el almacenamiento de los datos que debería registrarlos rápidamente, conservarlos firmemente hasta que fueran borrados, leerlos rápidamente, borrarlos rápidamente y estar en disposición inmediata para almacenar nuevo material.

Los puntos anteriores, tomados del prólogo de la obra de Wiener antes citada, que se publicó en 1947, definen ya todos los elementos de una computadora digital moderna.

El siguiente paso importante en el desarrollo de las computadoras fue, en efecto, la aplicación de la electrónica a su realización, sustituyendo las partes mecánicas por tubos electrónicos. En 1943, en la Universidad de Pennsylvania se empezó a fabricar, por encargo del ejército de Estados Unidos, una calculadora digital que se denominó **Integrador y Computador Numérico Electrónico (ENIAC)***. La máquina fue concebida y desarrollada por el físico J. W. Manchly y el ingeniero electrónico J. P. Eckert. Era mucho más rápida que las máquinas electromecánicas y contenía 18 000 válvulas al vacío. Las instrucciones se suministraban alambrando tableros externos. Esta calculadora, a pesar de los problemas de mantenimiento por las fallas de bulbos electrónicos, estuvo en servicio casi diez años.

Todo el desarrollo subsecuente de las computadoras digitales se realizó con máquinas electrónicas. El matemático J. von Neumann introdujo el programa almacenado en la máquina, mediante el cual no sólo se proporciona

* ENIAC: Electronic Numerical Integrator and Calculator.

ban a la máquina los datos numéricos de un problema, sino también las instrucciones para resolverlo.

Los programas almacenados requerían un aumento de la memoria de las máquinas. En 1949, la memoria, o sea el dispositivo para el almacenamiento de información en la computadora, se introdujo por primera vez en una máquina inglesa, puesta en servicio en la Universidad de Cambridge.

La primera computadora comercial con programa almacenado fue la **UNIVAC I*** (**Computadora Automática Universal I**) desarrollada por Eckert y Manchly, los inventores de la ENIAC, y que se puso en servicio en 1951.

La sustitución de los tubos electrónicos por componentes de estado sólido y el perfeccionamiento de las memorias, permitieron la realización de máquinas más rápidas, con mayor capacidad y más compactas.

Paralelamente al desarrollo de computadoras muy poderosas de propósitos múltiples, en los últimos años se han desarrollado (gracias a la disminución de los costos y la miniaturización de las componentes) computadoras más pequeñas, minicomputadoras y microcomputadoras, y computadoras dedicadas a propósitos especiales.

Un campo muy importante de aplicación de las computadoras es el del control automático. Los primeros intentos por introducir las máquinas calculadoras en el control *en tiempo real*, se hicieron durante la segunda guerra mundial, para la defensa antiaérea. De una serie de lecturas tomadas de la posición de un avión mediante el radar, por ejemplo, se pronosticaba su posición posterior. Una teoría de predicción lineal y la teoría de varios predictores específicos no lineales fueron resueltas por Wiener, quien participó en el diseño de un aparato que adaptaba el analizador diferencial de Bush para el control del fuego de la defensa antiaérea.

El control digital directo ha ido desplazando a los anteriores controles analógicos. Este campo aparece actualmente como uno de los más promisorios para el desarrollo futuro de las computadoras.

* UNIVAC: Universal Automatic Computer.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Sussking, C., *El mundo de la tecnología*, Editores Asociados, México, 1977.
2. Wiener, N., *Cibernética y sociedad*, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, México, 1981.
3. Wiener N., *Cybernetics: or control and communication in the animal and the machine*, Second edition, Cambridge, Massachusetts, 1961.

SEGUNDA PARTE

EL DESARROLLO DE LA INGENIERÍA EN MÉXICO

CAPÍTULO 11

LA IMPORTANCIA DE LAS OBRAS HIDRÁULICAS EN LAS CIVILIZACIONES DE MESOAMÉRICA

RELACIÓN ENTRE LAS OBRAS HIDRÁULICAS Y EL DESARROLLO SOCIOPOLÍTICO DE MESOAMÉRICA

A

lgunos estudios recientes sobre los fundamentos económicos del desarrollo de las sociedades de Mesoamérica y de las estructuras sociopolíticas relacionadas con la emergencia de grandes centros urbanos, indican que la agricultura de riego y la magnitud y complejidad de las obras hidráulicas guardan una estrecha relación con el desarrollo de esas sociedades. Estos estudios se deben principal-

mente al doctor Angel Palerm, antropólogo e historiador mexicano, quien escribió:

Las técnicas combinadas de la etnohistoria, la etnografía y la arqueología han descubierto la existencia de una gran variedad de sistemas intensivos de hidroagricultura, que se extendieron sobre la totalidad del área mesoamericana, desde las zonas desérticas a las tropicales lluviosas y a las regiones áridas y semiáridas. La hidroagricultura constituye, en consecuencia, un rasgo esencial de la economía mesoamericana.

Es muy significativa la inclusión de las zonas tropicales lluviosas, en especial de las mayas y probablemente también de las olmecas de la costa del Golfo de México... Yo había sostenido esta posibilidad desde hace años, basándome en evidencias reconocidamente fragmentarias e inconcluyentes, pero de todas maneras sintomáticas. El misterio del fundamento económico de la civilización maya clásica ha dejado de serlo. Mejor dicho, aparece ahora como un enigma fabricado por la obsesión ceremonialista de la antropología y por el desinterés consecuente por los aspectos materiales del desarrollo cultural.

OBRAS HIDRÁULICAS DE LOS ANTIGUOS MAYAS

En relación con la civilización maya clásica, resulta interesante señalar que levantamientos aéreos realizados recientemente sobre Belice y Guate-

mala (mediante el empleo de un nuevo tipo de radar que penetra la capa de nubes y la vegetación en esa región del trópico húmedo) revelaron la presencia de patrones uniformes constituidos por canales que presentan el aspecto de emparrillados, conectados a vías de aguas. Posteriormente, algunas expediciones confirmaron la presencia de restos de extensas obras hidráulicas.

A continuación se citan algunos párrafos del artículo **Mapas de radar, arqueología y explotación de la tierra en los antiguos mayas**, de Richard E.W. Adams, de la Universidad de Texas en San Antonio; T. Patrick Culbert, de la Universidad de Arizona y W.E. Brown, del Laboratorio de Propulsión a Reacción, perteneciente al Instituto de Tecnología de California.

Hace una generación, la mayoría de los arqueólogos pensaba que la población maya se mantenía a base de sistemas de roza en la agricultura, similar al que practican actualmente las comunidades modernas dispersas. En esta forma de cultivo se limpian los campos quemando la vegetación, se cultivan tres o cuatro años y después se abandonan de ocho a veinte. Durante los últimos veinte años se han acumulado datos que indican que las antiguas poblaciones eran mucho mayores de lo que habría permitido la capacidad de un sistema agrícola como éste... Los vestigios de terrazas y campos amurallados de la región del río Bec condujeron a Turner a deducir que para el año 600 d.C., y quizá desde antes, los mayas de esa región subsistían merced a sistemas agrícolas intensivos. Siemens y Puleston encontraron canales en la cuenca del río Candelaria y más tarde en el valle del río Hondo del norte de Belice. Las investigaciones de Harrison y Turner y la de Siemens indican que grandes ciénegas de las tierras bajas, en las que habitaban los mayas, quizás también se cultivaban por medio de canales de desagüe y campos peraltados sobre el nivel general del terreno. Estos datos se han recogido principalmente mediante exploraciones aéreas, aunque también se han explorado los campos y canales en la superficie misma y por medio de excavaciones.

Para mejorar la calidad de los datos de exploración sobre las tierras bajas del Mayab, iniciamos la búsqueda de una técnica de exploración a distancia que fuera rápida y eficiente. Un radar que permitiera la vista lateral desde el aire fue una de las técnicas sugeridas, y W.E. Brown, del Laboratorio de Propulsión a Reacción, proporcionó acceso a dicho sistema.

Iniciamos un programa experimental eligiendo un radar con ciertas características especialmente seleccionadas...

Los datos se obtuvieron en octubre de 1977, abril de 1978 y agosto de 1980. Los vuelos de 1977 y 1980 fueron de corta duración y cubrieron la parte norte de Belice, Tikal y el río de la Pasión. Los vuelos de 1978 se realizaron en cinco días consecutivos y cubrieron

la parte norte de Belice y casi todo el Petén. Durante estos vuelos se tomaron también fotografías en blanco y negro y por medio de rayos infrarrojos.

Se realizaron comprobaciones en el terreno mismo, casi siempre sobre vestigios fragmentarios de los canales principales y sobre todo de los intersticiales. Estas comparaciones fueron hechas por R.E.W. Adams y T.P. Culbert, junto con H.W. Lende y T.C. Graves. Otros colegas también han proporcionado confirmaciones a partir de la exploración sobre el terreno mismo.

La *lámina 9*, tomada del trabajo citado, muestra la distribución de los canales detectados por radar que se han encontrado hasta ahora en la zona meridional de las tierras bajas del Mayab.

Aunque son necesarios más análisis y nuevas imágenes con una resolución mayor, los datos disponibles nos permiten determinar la extensión probable, tanto mínima como máxima, de los sistemas de canales en el periodo Clásico tardío.

A juzgar por las imágenes del radar, casi todas las ciénegas, los bordes de los cauces de agua y las tierras que rodean a los lagos y lagunas del Petén se han modificado por canales de drenaje, excepto posiblemente algunas zonas de la parte noroeste. Si esta zona noroeste (aproximadamente 1 575 km²) se omite en los cálculos, tenemos un máximo teórico de 12 425 km² de tierras drenadas por canales. El bajo de Santa Fe, Azúcar y Máquina en las zonas al este, norte y sur de Tikal muestran la mayor densidad de canales. Otra zona importante se localiza inmediatamente al este de la sierra Lacandona, según se va hacia el norte desde el río de la Pasión hasta el pantano Peje Lagarto. Si aceptamos que sólo el 20% de las líneas detectadas por el radar son canales reales, con base en la estimación de Cerros, entonces llegamos al máximo corregido de 2 475 km² de la zona total que representa la extensión que requiere drenaje con fines agrícolas. Para calcular la extensión mínima, las zonas pantanosas se utilizan como base de cálculo (8 000 km²) que arroja la cifra de 1 285 km² [0.20 (8 000-1 575 km²)] Ambas cifras corregidas resultan elevadas si se trata de empresas de irrigación o drenaje preindustrial.

Además, como lo señalan los autores del trabajo:

Los canales a través de lagos poco profundos y de las ciénegas habrían proporcionado el medio para transportar mercancías... Dicho sistema de transporte ayudaría a explicar cómo era alimentada gran cantidad de gente en las ciudades preindustriales de los mayas (50 000 sólo en Tikal).

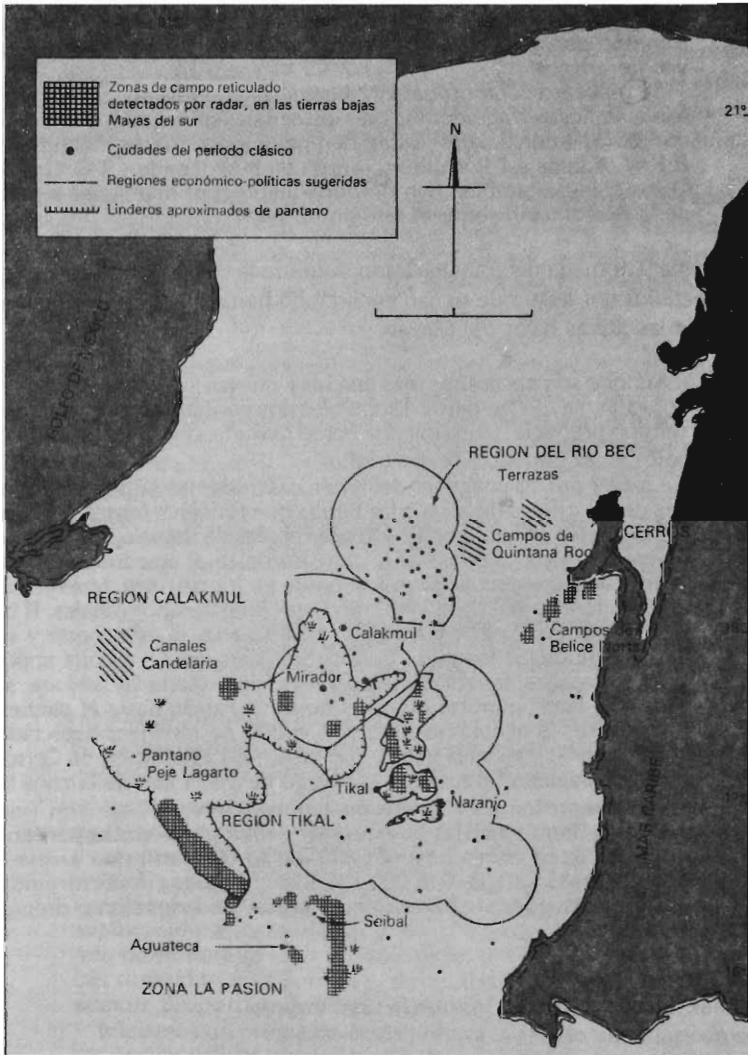


LÁMINA 9. MAPA DE LAS TIERRAS BAJAS DEL MAYAB.

El descubrimiento de esta extensa red de canales de irrigación y drenaje indica que los mayas, en el momento de su mayor desarrollo, utilizaron una agricultura intensiva, esta actividad primaria constituyó la base económica de esa civilización y permitió sostener a la población de las tierras bajas del Mayab, estimada en 14 millones de habitantes, hacia el año 800 de nuestra era.

Hacia el año 900 la cultura maya sufrió una profunda crisis, que quizás en parte pueda explicarse por el hecho que la operación del sistema intensivo agrícola, basado en grandes obras hidráulicas, requería de una administración considerable y altamente especializada. La combinación de acontecimientos desfavorables, como el crecimiento excesivo de la población y un período climático adverso, pudieron haber producido tanto una crisis en la organización social, como la destrucción de la casta dirigente que controlaba el sistema hidráulico. Esto, a su vez, pudo haber provocado el abandono de esas obras y una regresión de las técnicas agrícolas.

DIFUSIÓN DE LA TECNOLOGÍA HIDRÁULICA

Sin embargo, la tecnología hidráulica no desapareció de Mesoamérica, los mexicas también la emplearon cuando se asentaron en Tenochtitlan, luego de su largo viaje.

En su **Crónica mexicana**, Hernando Alvarado Tezozómoc narra el origen de los mexicanos:

Los mexicanos salieron de allá, del lugar llamado Aztlan, el cual se halla en mitad del agua; de allá partieron para acá los que componían los siete calpullis... Venían, pasaban en canoas cuando colocaban allá sus axayates.

Diego Durán, en su obra **Historia de los Indios de Nueva España e Islas de Tierra Firme**, relata el asentamiento de los siete calpullis en Coatepec, cerca de Tula, durante su migración:

Asentados ya y puestos en orden en sus tiendas, alrededor del tabernáculo, por el orden que su dios y sacerdote les mandaba, unos a oriente y otros a poniente, al mediodía y al norte, mandó en sueños a los sacerdotes que atajasen el agua de un río que junto allí pasaba, para que aquel agua se derramase por todo el llano y tomase en medio aquel cerro donde estaban, porque les quería mostrar la semejanza de la tierra y sitio que les había prometido.

Hecha la presa, se derramó aquel agua y se tendió por todo aquel llano, haciéndose una gran laguna, la cual cercaron los sauces, sabi-

nas, álamos; pusieronla llena de juncias y espadañas; empezóse a henchir de pescado de todo género de lo que en esta tierra se cría. Empezaron a venir aves marinas, como son patos, ánsares, garzas, gallaretas, de que se cubrió toda aquella laguna, con otros muchos géneros de pájaros que hoy en día la laguna de México tiene y cría.

En **México Tenochtitlán. Su problema lacustre**, el doctor Miguel León-Portilla señala:

Salta a la vista, pues, que las fuentes nos hablan de los mexicanos como gente no sólo acostumbrada a vivir en un medio lacustre y a beneficiarse de él, sino incluso como un grupo muy consciente de lo que pretendía y anhelante en realidad, de encontrar "su propio Aztlán".

Por supuesto, el hacer sementeras y chinampas, el aprovecharse de la fauna acuática y el saber represar ríos, no es lo único que los identifica como portadores de una cultura mesoamericana que les facilitaría después la supervivencia en los lagos centrales de México. se concluye que los mexicas provenían de un lugar lejano, sí, pero dentro del área cultural de Mesoamérica, y que no eran ajenos por tanto a prácticas altamente civilizadas. Desde Aztlán construían "camellones" para el cultivo, conocían sistemas de riego, hacían chinampas.

Al término de su migración se instalaron en el Valle de México, en una isla del lago. De acuerdo con la descripción de Chimalpahín en la obra **Relaciones originales**:

Con frecuencia venían las gentes de las tierras enjutas a observarlos desde las márgenes de la laguna, a ver las lumbres y humaredas que hacían para ir resecano los pantanales con sauces acuáticos. Y fue a causa de querer enjutar a fuerza de fuego aquellos fangales, cuya hazaña anda ahora en cantos, que muchos de ellos perecieron en el cieno y fango pantanoso. Pero muchos triunfaron en la obra emprendida, porque grandemente esforzados fueron los mexicas.

OBRAS HIDRÁULICAS MEXICAS EN EL VALLE DE MÉXICO

Probablemente el sistema hidráulico más notable de la época prehispánica es el realizado en la zona lacustre del Valle de México. Se dispone de bastante información documental sobre ese sistema, gracias en parte a la recopilación y análisis que realizó el doctor Palerm en su libro **Obras hidráulicas prehispánicas en el sistema lacustre del Valle de México**. Para describir aquí es-

tas grandes obras hidráulicas, se citan fuentes documentales que se reproducen en la obra del doctor Palerm.

Bernal Díaz del Castillo, en su **Historia Verdadera de la Conquista de la Nueva España**, relata el extraordinario poblamiento de la zona lacustre del Valle de México:

Y otro día por la mañana llegamos a la calzada ancha y vamos camino de Ixtapalapa. Y desde que vimos tantas ciudades y villas pobladas en el agua, y en la tierra firme otras grandes poblaciones, y aquella calzada tan derecha y por nivel como iba a México, nos quedamos admirados, y decíamos que parecía a las cosas de encantamiento que cuentan en el libro de Amadís, por las grandes torres y cués y edificios que tenían dentro en el agua...

El cronista deja testimonio de su recorrido por Iztapalapa, pueblo situado a la orilla de un lago:

...Fuimos a la huerta y jardín, que fue cosa muy admirable verlo y pasearlo, que no me hartaba de mirar la diversidad de árboles y los olores que cada uno tenía, y andenes llenos de rosas y flores y muchos frutales y rosales de la tierra, y un estanque de agua dulce, y otra cosa de ver: que podían entrar en el vergel grandes canoas desde la laguna por una abertura que tenían hecha, sin saltar en tierra...

...Ibamos por nuestra calzada adelante, la cual es ancha de ocho pasos, y va tan derecha a la ciudad de México, que me parece que no se torcía poco ni mucho... y en la calzada muchos puentes de trecho en trecho... ya que llegamos donde se aparta otra calzadilla que iba a Cuyacán, que es otra ciudad...

Díaz del Castillo también da constancia de cómo se veía la ciudad desde el templo de Tlatelolco:

...De allí vimos las tres calzadas que entran a México, que es la de Ixtapalapa que fue por la que entramos... y la de Tacuba, que fue por donde después salimos nuyendo... y la de Tepeaquilla. Y veíamos el agua dulce que venía de Chapultepec, de que se proveía la ciudad, y en aquellas tres calzadas, las puentes que tenían hechas de trecho en trecho, por donde entraba y salía el agua de la laguna de una parte a otra; y veíamos en aquella gran laguna tanta multitud de canoas, unas que venían con bastimentos y otras que volvían con cargas y mercaderías; y veíamos que cada casa de aquella gran ciudad, y de todas las más ciudades que estaban pobladas en el agua, de casa a casa no se pasaba sino por unas puentes levadizas que tenían hechas de madera, o en canoas...

Fray Juan de Torquemada, en el libro **Monarquía Indiana**, describe el sistema lacustre del Valle de México:

Está cerrada y rodeada de montes... De estas montañas bajan arroyos y ríos, y en sus laderas y en contorno nacen muchas y muy grandes fuentes. De esta agua (juntamente con la llovediza) hacen una gran laguna, que se divide en dos partes; la una es de agua salobre (y ésta es la grande)... la otra es de aguas dulces y sabrosas.

Esta parte de la laguna dulce le cae a esta ciudad al mediodía y al poniente, y corre mucha parte de esta llanada dentro de la cual fue la fundación de esta ciudad. Esta parte de la laguna dulce entra en la salada por razón de estar alta, y así corre a la segunda parte que es la salada, y se incorporan las dos aguas y forman la una y la otra la grande y honda salada, la cual tiene de travesía, yendo de México a Tetzcuco, cinco leguas, y de largo ocho y de bojeo catorce...

Estotra laguna de aguas dulces debe tener de ruedo y bojeo otras tantas leguas, cuyas orillas y contorno gozan de otras muchas poblaciones, en cuyo medio está la ciudad de México, aunque en estos tiempos está su suelo continuado con el de la tierra firme. En medio de esta laguna dulce hay muchos pueblos situados, y es la razón no ser laguna formada, ni tener sus aguas continuadas y seguidas en un lugar, sino divididas en acequias y camellones, en los cuales hacen los naturales sus sembrados y sementeras...

Y aunque esta célebre ciudad es toda un huerto o jardín (en especial considerada por la parte del mediodía y poniente), los tiene con otro mucho número de huertas de grande recreación, donde hay de todo género de frutas, así de las que la tierra en diversas partes produce, como de las traídas de España, y corren por esta parte del poniente más de una legua...

En la misma obra, Torquemada describe el sistema de transporte de la ciudad y las chinampas, éstas constituían un sistema de cultivo agrícola intensivo:

Las calles de esta ciudad eran de dos maneras: una era toda de agua, de tal manera que por ésta no se podía pasar de una parte a otra, sino en barquillas o canoas, y a esta calle o acequia de agua correspondían las espaldas de las casas y unos camellones de tierra en los cuales sembraban su pan y legumbres, los cuales camellones dividían zanjas de agua y muy hondas. Estas calles de agua eran para sólo el servicio de las canoas y de las cosas comunes y manuales de casa, y así tenían también puertas que se llaman falsas para este ministerio, y podían pasar de una parte a otra por puentes que las dichas acequias tenían.

Otra calle había toda de tierra, pero no ancha, antes muy angosta y tanto que apenas podían ir dos personas juntas (y hay hoy día de estas calles en los barrios de los indios, que son los arrabales de la ciudad de los españoles)... A estas calles o callejones salían las puertas principales de todas las casas...

Por las calles de agua entraban y salían infinitas canoas... con las cosas de bastimento y servicio de la ciudad... y así no había vecino que no tuviese su canoa... y no sólo en la ciudad se usaban... sino en toda la redonda de esta laguna, con las cuales todos los de la comarca servían a la ciudad.

También en **Monarquía Indiana** se relata el problema de las inundaciones y se describen las obras hidráulicas para controlarlas:

A los nueve años del reinado de Motecuhcuma crecieron tanto las aguas de esta laguna mexicana, que se anegó toda la ciudad y andaban los moradores de ella en canoas y barquillas, sin saber qué remedio dar ni cómo defenderse de tan gran inundación. Envió el rey sus mensajeros al de Tetzcuco... pidiéndole acudiese a dar alguna traza para que la ciudad no se acabase de anegar, porque ya estaban arruinados y caídos muchos de sus edificios. Neçahualcoyotl... vino con presteza a México y trató con Motecuhcuma que el mejor y más eficaz remedio del reparo era hacer una cerca de madera y piedra que detuviese las aguas para que no llegasen a la ciudad; y aunque pareció caso dificultoso haber de atajar el lago (como en realidad de verdad lo fue), viendo que por otra parte era eficaz remedio, húbose de tomar el consejo y poner en ejecución la cerca.

Llamaron para el socorro de esto al ...rey de Tlacupan... al señor de Culhuacan... al señor de Itztapalapan y al de Tenayuca, los cuales todos juntos comenzaron la obra de la Albarrada vieja, que cierto fue hecho muy heroico y de corazones valerosos intentarla, porque iba metida casi tres cuartos de legua el agua dentro y en partes muy honda y tenía de ancho más de cuatro brazas y de largo más de tres leguas. Estacáronla toda muy espesamente, las cuales estacas (que eran muy gruesas) les cupieron de parte a los tepanecas, coyohuaques, xochimilcas; y lo que más espanta es la brevedad con que se hizo, que parece que ni fue oída ni vista la obra, siendo las piedras con que se hizo todo de guijas muy grandes y pesadas y trayéndolas de más de tres y cuatro leguas de ahí; con que quedó la ciudad, por entonces, reparada, porque estorbó que el golpe de las aguas salobres no se encontrara con esotras dulces, sobre que estaba fundada la ciudad...

Fray Diego Durán, en el libro **Historia de los Indios de Nueva España e Islas de Tierra Firme**, describe la construcción de un acueducto.

Muerto el señor de Cuyuacan, el rey Ahuizotl envió a Tezcuco y a Tacuba, a Xuchimilco, a Chalco y finalmente, a todas las ciudades de las provincias, así de Tierra Caliente como de Tierra Fría, a decir a los señores de ellas que él quería traer el agua de Cuyuacan a México; que luego le acudiesen con gente y con piedra y cal estacas para hacer presa y caño, por donde viniese encañada a México.

Lo cual oído en las provincias, luego fue puesto por obra y acudiendo a esta obra innumerable gente, hicieron a estas fuentes una presa fortísima de argamasa, que, violentando el agua, la hicieron subir con mucha fuerza, porque mandaron venir los mejores maestros que en todas las provincias se hallaron, y así acudieron grandes maestros y buzos que bajaban a los manantiales del agua para limpiarlos y arreglarlos y a cerrar todos los desagüaderos y vanas por donde desaguaban.

Juntamente acudieron todos los de Tezcucó y de toda su provincia mucha gente, con piedra pesada y liviana. También la gente tepaneca vino con toda su provincia con piedra pesada. Acudió todo Chalco, con madera de morillos y estacas para el cimientó y con arena, que era tierra de tezontle. Acudió la nación xuchimilca con instrumentos para sacar céspedes, y con muchas canoas de tierra para cegar el agua. Acudió a esta obra toda la provincia de Tierra Caliente, con innumerables cargas de cal.

Juntamente, acudió toda la nación otomí, que es la provincia de Jilotepec con toda la Cuauhtlalpan, que ellos llaman.

Fue tanta la gente y materiales que acudieron a esta insigne obra que, con ser trecho de dos leguas largas, no fue oída ni vista, según la brevedad con que se acabó. Pues cada provincia, en su tarea y pedazo que le cupo, andaban a porfía, unos contra otros, a quien más aína acabase y así, cada uno acabó con tanta brevedad y diligencia su tarea, que en menos de ocho días no había qué hacer.

Porque, según de la historia se colige, desde la fuente de Acuecuexco hasta la entrada de México estaban todas las provincias y pueblos repartidos a trechos en sus tareas, cada uno en las brazas que le cabían, trabajando con mucha vocería y contento, a porfía, como he dicho, y así no les parecerá encarecimiento al que considerare que andaba en esta obra gente como hormigas en hormiguero, que no tienen número.

Acabada la insigne obra y seco el edificio, mandó el rey Ahuizotl se soltase el agua y se cerrasen todos los desagüaderos.

La *lámina 10* es una reproducción de una de las láminas del Códice Xólotl. De acuerdo con el prólogo de Rafael G. Granados a la edición de Charles E. Dibble, *Códice Xólotl*, el original de este códice, perdido, se realizó en la época de Nezahualcóyotl. El que se conserva en la Biblioteca Nacional de París es una copia hecha en tiempos posteriores a la conquista.

En la *lámina 11* se muestra un mapa [*sacado del que en el siglo antecedente delineó D. Carlos de Sigüenza*], el destacado sabio mexicano del siglo XVII. Comparando este mapa con la *lámina* del Códice Xólotl, se comprueba que ésta corresponde a la realidad geográfica. El sistema de lagos del Valle de México está fielmente representado con el norte del lado izquierdo de la *lámina*;

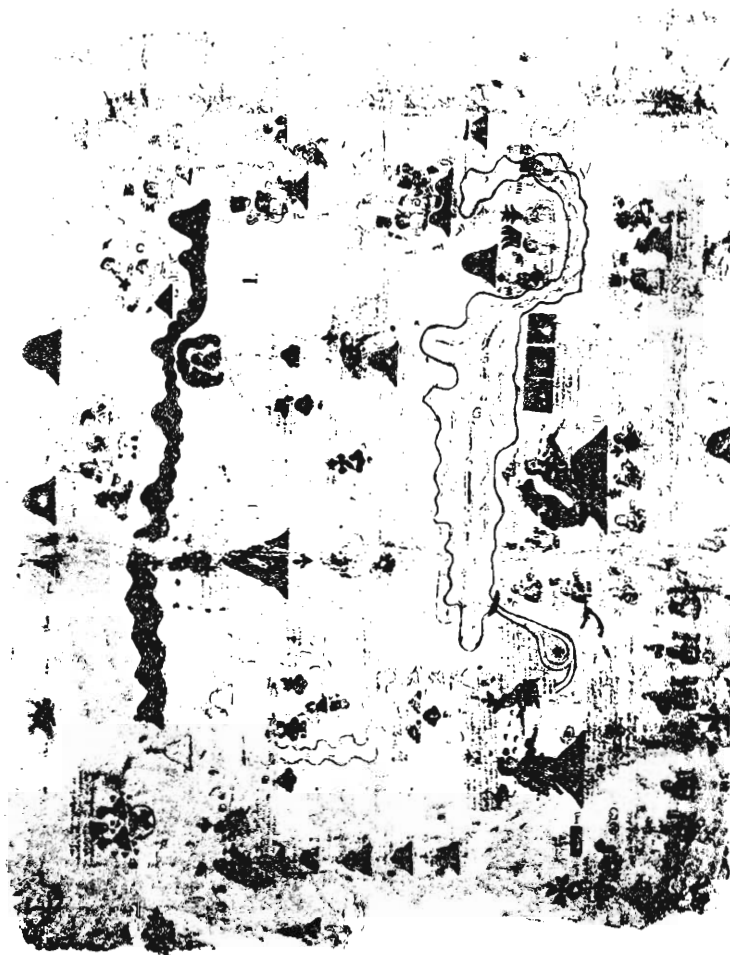


LÁMINA 10. EL VALLE DE MÉXICO. LÁMINA DEL CÓDICE XÓLOTL.

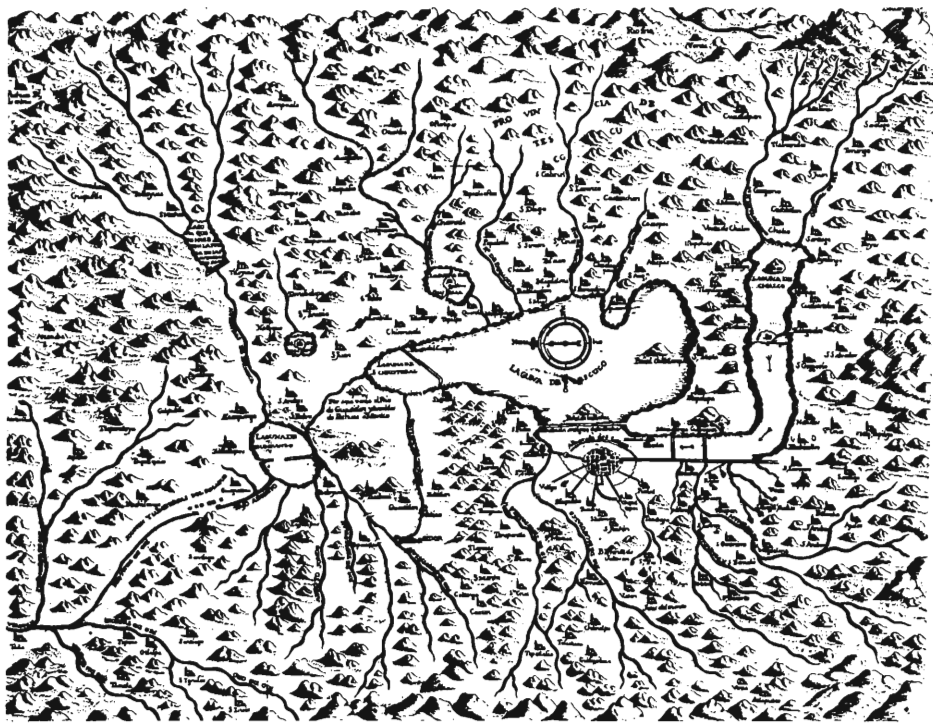


LÁMINA 11. COPIA DEL MAPA DEL VALLE DE MÉXICO ELABORADO POR CARLOS DE SIGÜENZA Y GÓNGORA EN EL SIGLO XVII.

los lagos de Chalco, Texcoco y Zumpango se pueden identificar fácilmente si se comparan en el mapa De de Sigüenza y Góngora.

El doctor Palerm, en la introducción a su libro, plantea la importancia de las obras hidráulicas prehispánicas del Valle de México:

La precipitación pluvial dentro del Valle está concentrada en una sola estación de lluvias, que es muy irregular en términos tanto de su distribución geográfica como estacional. Podría decirse que llueve más y con mayor regularidad donde resulta menos útil para la agricultura; esto es, en las partes más altas, donde las heladas, la abrupta topografía y los suelos pobres, hacen imposibles o muy difíciles los cultivos. De todas maneras, la precipitación total anual está dentro de los límites permisibles para la mayoría de las plantas cultivadas en Mesoamérica, particularmente de aquéllas que son fundamentales para la alimentación.

El problema de la precipitación, en relación con la agricultura, es más complicado de lo que acabo de sugerir. La irregularidad de las lluvias resulta particularmente crítica con respecto al comienzo de la estación. Se vuelve angustiada al combinarse con el problema de las heladas, siempre presentes a estas altitudes durante un largo periodo del año. Para decirlo simplemente, si las siembras se realizan muy temprano, al comienzo mismo de la estación de lluvias, el riesgo es enfrentarse a una sequía intermitente que destruya los sembradíos. Mas si se demoran las siembras, para aprovechar las lluvias continuas y seguras de la estación avanzada, el riesgo es entrar en el periodo de las heladas, con resultados igualmente fatales.

Existe, entonces en el Valle de México, una conjunción de circunstancias que estimularon de muchas maneras la aparición y el desarrollo de la agricultura de riego y de otras formas intensivas de cultivo. La abrupta topografía encontró su respuesta en el extenso aterramiento de cerros y laderas, que además sirve para retener la humedad del suelo. La irregularidad de las lluvias, su caprichosa distribución geográfica y su insuficiencia en algunas zonas encontraron respuesta en la amplia organización de sistemas de regadío, usando unas veces manantiales y otras arroyos y ríos permanentes. Junto con estos sistemas aparecieron otros, sumamente ingeniosos y eficientes, para captar y retener agua de lluvia y desviarla hacia los campos de cultivo. Con frecuencia, todas estas técnicas de manejo y uso del agua estuvieron combinadas con la construcción de terrazas y de bancales, dondequiera que las características del terreno lo hicieron necesario o aconsejable.

El desafío mayor a la agricultura y a las culturas del valle estaba, sin embargo, en el sistema lacustre. La respuesta más característica fueron los sistemas de chinampas, que se extendieron por las lagunas de agua dulce de Chalco y Xochimilco, cubriendo la mayor parte de su superficie. Las chinampas aparecieron también en los lagos sep-

tentrionales, en Zumpango y Jaltocan. Una vez que se desarrollaron técnicas hidráulicas eficientes, las chinampas comenzaron a extenderse por la laguna central salobre de Texcoco-México, alrededor de las ciudades gemelas de Tenochtitlán y Tlatelolco, de Ixtapalapa, Mexicalcingo, Churubusco y otros lugares. Es muy posible, además, que a las orillas de los lagos y en las llanuras más bajas aparecieran sistemas semejantes, que he llamado "chinampas de tierra adentro". Como, por ejemplo, en Texcoco, Teotihuacán y Cuautitlán.

El sistema lacustre, por otra parte, proporcionó en el Valle de México la solución a un problema crítico de las culturas mesoamericanas: el del transporte. Carente de animales de tiro y de carga, y sin hacer uso de la rueda, la civilización de Mesoamérica dependió del transporte humano, excepto donde los lagos, los ríos y el mar facilitaron caminos acuáticos. El sistema lacustre del valle fue cruzado por una verdadera red de canales y acequias profundas, en la mayoría de los casos construidos artificialmente, por los que circulaba un enorme número de canoas. No hay duda que la integración económica de la cuenca, y la de ésta con los valles circunvecinos, de esta manera se hizo más posible y fácil.

La intensificación de la agricultura, la creación de nuevos suelos cultivables y las facilidades de transporte, favorecieron las altas densidades de población y las concentraciones urbanas. El poder económico y demográfico amasado en el Valle de México, combinado con una organización políticomilitar estrechamente ligada a la organización hidráulica, permitió salir a la captura de las poblaciones y de los recursos de los valles vecinos. Finalmente, el poderío reunido alrededor del valle se desbordó sobre el resto de Mesoamérica.

ENSEÑANZA Y ADVERTENCIA

Las condiciones climáticas no han variado apreciablemente en Mesoamérica desde la época de los antiguos mayas. Se caracteriza por una temporada de lluvias que dura aproximadamente la tercera parte del año, en la cual se tiene agua en exceso, y una temporada de estiaje, especialmente marcada y larga en las tierras altas, durante la cual se tiene un déficit de agua.

Sigue existiendo la motivación para el desarrollo de obras hidráulicas que permitan regular el escurrimiento de las aguas superficiales, mejorar la agricultura y, en la época moderna, suministrar energía a la sociedad industrial.

Sin embargo, el México moderno, fascinado por la imitación de otras culturas, parece mucho menos capaz de adaptarse a las condiciones climáticas y aprovecharlas eficientemente, que los antiguos habitantes de Mesoamérica, en sus periodos de esplendor.

A través de la historia nos llega un enseñanza y una advertencia. Por una parte, la enseñanza de las posibilidades de florecimiento con que cuenta una cultura que sabe adaptarse a su medio ambiente y lo aprovecha sin destruirlo. Por otra parte, la advertencia de las consecuencias catastróficas que puede causar un desequilibrio entre las características naturales y el desarrollo de la sociedad.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Adams, R.E.W., Brown, W.E. y Culbert, T.P., *Mapas de radar, arqueología y explotación de la tierra en los antiguos mayas*, Rev. Información Científica y Tecnológica, abril 1982, pp. 16-29.
2. Chimalpahin. *Relaciones originales de Chalco-Amaquemecan*, Fondo de Cultura Económica, México, 1965.
3. Departamento del Distrito Federal, *Memoria de las obras del sistema de drenaje profundo del Distrito Federal, D.D.F., México, 1975.*
4. Dibble, C.E., *Códice Xólotl*, UNAM, México, 1951.
5. Durán, D., *Historia de los indios de Nueva España e Islas de la Tierra Firme*, Editorial Porrúa, México, 1967.
6. León-Portilla, M., *México Tenochtitlan. Su problema lacustre*, Introducción a la memoria de las obras del Sistema de drenaje profundo del Distrito Federal, Departamento del Distrito Federal, México, 1975.
7. Palerm A., *Obras hidráulicas prehispánicas en el sistema lacustre del Valle de México*, SEP-INAH, México, 1973.
8. Palerm A. y Wolf, E., *Agricultura y civilización en Mesoamérica*, Sep Setentas-Diana, México, 1980.
9. Tezozómoc, H., *Crónica mexicayotl*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1975.
10. Torquemada, J., *Monarquía indiana*, Universidad Nacional Autónoma de México, México, 1975.

CAPÍTULO 12

UN CIENTÍFICO E INGENIERO MEXICANO DEL SIGLO XVII

E

n la segunda mitad del siglo XVII, la ciencia y la cultura en México las representaron dos figuras cimeras: Carlos de Sigüenza y Góngora y Sor Juana Inés de la Cruz.

Carlos de Sigüenza y Góngora nació en la ciudad de México en 1645, tres años después de la muerte de Galileo y del nacimiento de Newton. Este científico mexicano fue el segundo de nueve hermanos. Su padre, Carlos de Sigüenza y Benito, originario de Madrid, llegó a la Nueva España en 1640, con el séquito del marqués de Villena, quien había sido nombrado virrey; en España, Sigüenza y Benito fue preceptor del hijo de Felipe IV, el príncipe Baltasar Carlos. La madre del científico mexicano, Dionisia Suárez de Figueroa y Góngora, fue una criolla descendiente de una familia sevillana que estaba emparentada con el gran poeta cordobés Luis de Góngora.

ESTUDIOS Y OPOSICIÓN A CÁTEDRA

Según relata Irving A. Leonard en su obra **La época barroca en el México colonial**, De Sigüenza y Góngora mostró su talento excepcional desde temprana edad. A los 15 años fue aceptado como novicio de la orden de los jesuitas en el Colegio del Espíritu Santo, en Puebla, donde hizo sus primeros votos en 1662.

Durante siete años se ejerció con vigor en la teología y en los estudios humanísticos, pero este periodo fructífero terminó súbitamente con su expulsión, hecho que influyó decisivamente en su vida. La rígida disciplina del colegio y las restricciones físicas que imponía, resultaron insoportables para el joven estudiante, quien algunas noches eludía la vigilancia de los prefectos y escapaba del dormitorio para saborear el fruto prohibido de las aventuras nocturnas. Cuando los padres jesuitas descubrieron estas violaciones a las reglas, ejercieron sobre De Sigüenza y Góngora una represalia inmediata, el 15 de agosto de 1668 lo despidieron de la orden. Aunque en distintas épocas de su vida solicitó su reinstalación, nunca se la concedieron.

De regreso a la ciudad de México, el joven Carlos reanudó sus estudios de teología en la Universidad, allí empezó a desarrollar en forma independiente sus intereses humanísticos. De todas las áreas del conocimiento que le interesaban, las matemáticas fueron las que más lo entusiasmaron, poseía para ellas aptitudes especiales, sobresalió en esta disciplina y pronto fue reconocido como el matemático más adelantado de México.

En 1672, De Sigüenza y Góngora, estimulado por los reconocimientos a su capacidad, solicitó la cátedra de Matemáticas y Astrología que había quedado vacante en la Universidad. Otros dos candidatos aspiraban a ocupar el puesto, uno de ellos ostentaba un grado académico, lo que en apariencia dejaba en desventaja a De Sigüenza, pero éste aunque carecía de diplomas, no se amedrentó por los del opositor. Ante las autoridades universitarias argumentó que los conocimientos son más vivos que los títulos y que ninguno de los aspirantes a la cátedra era tan competente como él, quien, según declaró: *[era experto en esas disciplinas como es reconocido y bien sabido por todo este Reino, debido a sus dos almanaques, uno del año anterior (1671) y otro del presente año]*.

En esa época se seleccionaba a los profesores de la Universidad por concursos de oposición. Cada candidato preparaba un tema de una autoridad clásica en la materia, y a las 24 horas estaba obligado a disertar sobre el tema. Después de su exposición cada uno de los candidatos improvisaba brevemente para mostrar su erudición. La calificación se obtenía por votación de los estudiantes y de los profesores titulares, el concursante que acumulaba más votos ganaba la cátedra.

Estos concursos no siempre estuvieron limpios de fraude, se supo de casos en los que un aspirante pagó a un redactor venal para que escribiera su disertación. De Sigüenza sospechó una intención semejante en el candidato que había reclamado el derecho único a la cátedra basado en su diploma; por este motivo solicitó que ese opositor fuera vigilado por dos guardias durante las 24 horas otorgadas para preparar la disertación, a lo cual accedieron las autoridades universitarias.

El resultado del concurso fue el triunfo absoluto de De Sigüenza, quien el 20 de julio de 1672 fue aceptado como profesor de Matemáticas y Astrología con el sueldo de 100 pesos. A diferencia de sus colegas de la facultad, que como miembros de órdenes religiosas tenían asegurada su subsistencia, De Sigüenza tuvo que encontrar medios adicionales para ganarse la vida y ayudar al sostenimiento de su familia.

Como sucedió con los humanistas del Renacimiento, ningún campo de investigación fue ajeno a los trabajos de la mente curiosa de De Sigüenza. Pero obtuvo sus mejores logros en la arqueología y la historia, por una parte, y en las matemáticas y las ciencias aplicadas; por otra; aunque dejó también una obra literaria de cierta importancia.

ESCRITOS HISTÓRICOS

De Sigüenza inició sus estudios sobre las civilizaciones prehispánicas de México el mismo año de su salida del seminario. Gracias a su conocimiento de las lenguas autóctonas, reunió documentos, códigos y mapas relacionados con las antiguas culturas indígenas. Probablemente en 1670 recibió como donación la preciada colección de documentos, apuntes y traducciones que pertenecieron al cronista indio don Fernando de Alva Ixtlilxóchitl, que un hijo de éste conservaba en San Juan Teotihuacán.

De Sigüenza escribió varias monografías en las que refirió tanto los datos que encontró en los documentos del cronista De Alva Ixtlilxóchitl, como sus propias exploraciones arqueológicas, en especial las que efectuó en las pirámides de Teotihuacán. De estas monografías pueden citarse: **Historia del imperio de los chichimecas**, **Ciclografía Mexicana**, **La genealogía de los reyes mexicanos** y **Calendario de los meses y fiestas de los mexicanos**.

Desgraciadamente De Sigüenza, escaso de recursos, no obtuvo apoyo para publicarlas, por lo que se perdieron. Sin embargo se conoce parte de su contenido porque algunos contemporáneos de De Sigüenza las utilizaron como fuente de información, entre estos destacan los padres Florencia y Vetancourt y, en especial, Gemelli Careri. Este viajero italiano, en su recorrido alrededor del mundo, llegó a Acapulco procedente de Filipinas a fines de 1696, permaneció en México 11 meses. Años después, Careri publicó su libro **Giro del mundo**, en el que escribió algunos capítulos sobre las antiguas culturas mexicanas, gracias a los datos que le proporcionó De Sigüenza.

Los escritos históricos de De Sigüenza sobre el periodo posterior a la conquista tuvieron un destino similar. En cambio, se conservan sus crónicas contemporáneas, escritas en sus últimos años, que son una especie de relatos periodísticos de sucesos de actualidad.

TRABAJOS Y ESCRITOS CIENTÍFICOS

Pero más importantes que sus estudios históricos, donde apuntaba ya la conciencia histórica de lo específicamente mexicano, son sus trabajos y escritos científicos. De Sigüenza consideraba que las matemáticas eran muy importantes para el conocimiento científico, como lo aseguraba Descartes, pensador que indudablemente influyó en su formación.

Aunque aplicó con mayor frecuencia sus conocimientos a proyectos de ingeniería, tanto civiles como militares, que a la astronomía, ésta lo entusiasmaba más. Ya por el año de 1670, De Sigüenza observaba los fenómenos de los cielos, obtenía datos que siempre procuraba intercambiar con otros investigadores. Se esforzaba para que sus notas fueran exactas, con ese propósito importaba los más modernos instrumentos accesibles. Así, es probable que en cuanto a erudición, a literatura técnica e instrumentos eficientes, haya sido el científico mejor dotado de su tiempo en los dominios españoles de ultramar. Su fama se extendió por Europa y Asia, en gran medida por la correspondencia que sostenía con hombres de ciencia notables. En 1680, el rey Carlos II de España lo nombró **Real Cosmógrafo del Reino**; se afirma, incluso, que Luis XIV de Francia trató de atraer al sabio mexicano a su corte.

Varias de las obras científicas de De Sigüenza se han perdido, como el **Tratado sobre los eclipses de sol**; pero se conservan varios ejemplares de su importante obra **Libra astronómica y filosófica**, tratado polémico sobre la naturaleza de los cometas, que ofrece la evidencia más sustanciosa de la competencia e ilustración del autor. El libro se hace eco de las teorías modernas de Copérnico, Galileo, Kepler, Descartes y otros pensadores, todavía sospechosos de herejía a fines del siglo XVII.

Esta obra la escribió De Sigüenza después de la aparición del gran cometa de 1680, que tanto angustió a los ignorantes y preocupó a las mejores inteligencias de ambos lados del Atlántico, y que fue visto por primera vez en la ciudad de México el 15 de noviembre de ese año. Esta aparición causó terror y motivó presagios de horrendas calamidades y graves infortunios futuros. En cambio, De Sigüenza lo consideró un acontecimiento emocionante y una ocasión feliz. Como recientemente había sido nombrado **Real Cosmógrafo del Reino**, comprendió que era su deber apaciguar los infundados miedos y la extensa inquietud que el suceso causó en la sociedad mexicana; por tal motivo, el 13 de enero de 1681 publicó un folleto con el título **Manifiesto filosófico contra los cometas despojados del imperio que tenían sobre los timi-**

dos. Aunque reconocía su desconocimiento de la causa de estos fenómenos, De Sigüenza disentía del significado ominoso que los astrólogos les atribuían. En una obra posterior registró sus propias observaciones del cometa, realizadas del 3 al 20 de enero de 1681, con las que demostró el enfoque científico con que abordó el estudio del cometa.

El folleto de De Sigüenza provocó la réplica de Martín de la Torre, un caballero flamenco afincado en Campeche, quien escribió un folleto titulado **Manifiesto cristiano en favor de que los cometas se mantengan en su significado natural.** Basado en datos astrológicos, este autor afirmaba que los cometas eran, de hecho, advertencias de Dios mismo de venideros sucesos calamitosos. De Sigüenza contestó con **El Belerofonte matemático contra la Quimera astrológica de Martín de la Torre.** Aunque el escrito no ha llegado hasta nuestros días, se conserva una breve descripción de la que se colige que en él se exponen todas las sutilezas de la trigonometría: *[en investigaciones de los movimientos de los cometas o mediante una trayectoria rectilínea en la hipótesis de Copérnico, o mediante las esferas cónicas de los vórtices cartesianos].*

Con motivo de esta polémica, en franca alusión a su nombramiento como profesor de matemáticas y astrología, declaró: *[También soy astrólogo y sé muy bien de qué pie cojea la astrología y sobre cuán extraordinariamente débiles cimientos se levanta su estructura].*

LA POLÉMICA CON EL PADRE KINO

Pero la polémica más apasionada, y que dio lugar a su obra más importante, la tuvo De Sigüenza con el padre Eusebio Francisco Kino.

El padre Kino fue un jesuita del Tirol austriaco, quien llegó a México procedente de Europa en el apogeo de la polémica sobre el cometa. Tenía más o menos la edad de De Sigüenza, había estudiado en varias universidades europeas, era muy competente en matemáticas y muy afamado por su erudición. Kino había rechazado una cátedra en la Universidad de Ingolstadt para llevar la luz del evangelio a los paganos, en una remota región de América.

El padre Kino, que había hecho observaciones sobre el cometa de 1680 antes de embarcarse en Cádiz, tuvo largas discusiones con De Sigüenza sobre sus mutuas opiniones del fenómeno. Poco antes de salir para Sinaloa, el padre entregó a De Sigüenza un ejemplar de su obra **Exposición astronómica**, que acababa de publicarse. Allí sostenía que los cometas eran realmente pre-

sagios de mal agüero y mensajes de mala fortuna, y que otra opinión era contraria a lo que todos los mortales sabían. Concluía con estas palabras: *[Cierro la prueba, de verdad ociosa (a no haber trabajosos juicios), de ésta no tan mía, como opinión de todos].*

De Sigüenza se sintió aludido en esta frase, su respuesta fue **La libra astronómica y filosófica**, su mejor obra científica. En el primer capítulo, titulado **Motivos que hubo para escribirla**, se refiere a la alusión del padre Kino en estos términos:

Bien saben los que la entienden, que en la lengua castellana lo mismo es decirle a uno que tiene trabajoso el juicio, que censurarlo de loco.

...Hallándome yo en mi patria con los créditos tales cuales, que me han granjeado mi estudio con salario del rey nuestro señor, por ser un catedrático de matemáticas en la Universidad mexicana, no quiero que en algún tiempo se piense que el revendo padre vino desde su provincia de Baviera a corregirme la plana; así porque debo dar satisfacción al mundo de que, habiendo dejado otros mayores estudios por el de las matemáticas, no ha sido gastado el tiempo con inutilidad y dispendio, como porque yo no soy tan absolutamente dueño de mis créditos y mi nombre que pueda consentir el que me quiten aquéllos y me obscurezca éste el que quisiera hacerlo.

De Sigüenza, en los capítulos siguientes de su obra, ataca las aserciones dogmáticas de su oponente:

Yo, por la presente señalo que ni su Reverencia, ni ningún otro matemático aunque fuese Tolomeo mismo, puede establecer dogmas en estas ciencias, pues la autoridad no tiene lugar en ellas para nada, sino solamente la comprobación y demostración. ¡Que diría yo para satisfacer a alguien que afirma que, en un tema abierto a la discusión, es necesario aceptar lo que otros dicen, cuando es claro que nadie, con mente y poder para razonar se guíe jamás por las autoridades, si estas autoridades no tienen congruencia! ¿Y sería juicioso afirmar en estos tiempos que los cielos son sólidos e invariables, sólo porque la mayoría de los autores antiguos afirman que lo son? ¿Que la luna está eclipsada por la sombra de la tierra y que todos los cometas son semilunarios solamente porque estas autoridades así le informan? ¿Sería prudente para la inteligencia aceptar las enseñanzas de otros sin investigar las premisas sobre las cuales basan sus ideas? Aún Aristóteles, el reconocido Príncipe de los filósofos, quien por tantos siglos ha sido aceptado con veneración y respeto, no merece crédito cuando sus juicios se oponen a la verdad y a la razón.

Esta posición de De Sigüenza era muy avanzada, pues debe señalarse que poco después de su muerte, los jesuitas recibieron la orden de enseñar únicamente la filosofía aristotélica y de huir de las *[proposiciones erróneas del pensamiento cartesiano]*.

Otro fenómeno natural que causó un pánico supersticioso en la ciudad de México fue el eclipse total de sol que se produjo el 23 de agosto de 1691. Un relato de la época lo describe así: *[El jueves, 23 de agosto, a las nueve de la mañana, estaba oscuro como a media noche, los gallos cantaban, y las estrellas brillaban, pues el sol se eclipsó completamente]*. De Sigüenza narra su experiencia:

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 anteojos de larga vista contemplando el sol.

Para observar el eclipse empleó un telescopio *[de cuatro lentes, hasta ahora, es el mejor que ha llegado a esta ciudad. El padre Marco Antonio Capus me lo vendió por ochenta pesos]*.

TRABAJOS DE INGENIERÍA

Ese año de 1691, en el que se produjo el eclipse, las lluvias fueron muy abundantes, tanto que en julio se anegaron extensas zonas de la ciudad de México. En una carta que dirigió a su amigo el Almirante Pez, De Sigüenza relata así la inundación:

Rebosaron los ríos y arroyos de la comarca y cayeron sobre los ejidos de la Ciudad; los inundaron todos; parecía un mar el que hay desde la Calzada de Guadalupe (en toda su longitud, hasta los pueblos de Tacuba, Tlalnepantla y Azcapotzalco), donde se sondeaban por todas partes dos varas de agua. Competía con éste el que se forma entre las calzadas de San Antón y de la Piedad, pero ¿para qué quiero cansarme refiriendo los parajes anegados, uno por uno? Todo era agua y lo más lastimado de la Ciudad aquellos barrios, que hay desde Santa María hasta el Convento de Belem y Salto del Agua, por la excesivamente mucha que recibieron en la primera avenida del mes de junio, y de que aún no estaban totalmente libres en las de ahora.

...Aunque cesaron las lluvias, corrían los ríos, así por lo perenne de sus principios, como por la mucha humedad con que se hallaban los montes. Bien sabe Vmd. el que, no entrando aquí el de Guautitlán (asunto único del desagüe de Huehuetoca, por donde se comunica

al de Tula y de allí al de Pánuco), sólo a los de Tepolula y de Mecameca se les puede estorbar el que entren en la laguna de Chalco y por ella a la de Texcuco, que es la de México, y ésto, arrojándolos a una barranca de Chimalhuacán; el que se hiciese así, fue la primera diligencia del señor Virrey y, con comisión que para ello dio al Alcalde Mayor de Tlalmanalco y Chalco, se consiguió quitarse todos de la vista este enemigo antiguo; ya que no se podía hacer otro tanto con el de Azcapotzalco, con el de Tlalnepantla, compuesto del de los Remedios, Salazar y otros; con el de Sanctorum y los Morales; con el de Tacubaya; con el de Cuyacán, en que entran los de Mixcoac y San Bartolomé, valiéndose Su Excelencia de cuantas personas juzgó a propósito, se determinó a que, no sólo corriesen por sus antiguas madres para que, sin caer sobre la ciudad, desembocasen en la laguna, sino a que se ensanchase aquélla por muchas varas, fortaleciendo con estacadas los parajes débiles y anegadizos, y con bordos bien terraplenados y consistentes todos sus márgenes; y así se hizo, porque, acudiendo continuadas tardes a unas y otras partes, mucho más con lo que de su bolsa y con su mano daba a los indios que trabajaban, que con su presencia se granjeó mucho tiempo y se acabó esta obra.

El Ayuntamiento de la ciudad de México pidió el parecer de De Sigüenza sobre las nuevas obras necesarias para defenderse de las inundaciones; éste dio su dictamen y quedó encargado de las obras, lo que demuestra que De Sigüenza desarrolló también actividades que corresponden a las que hoy realizan los ingenieros.

Parecióme (después de haberlo premeditado por muchos días) que, para que no se anegasen otra vez los barrios occidentales de la Ciudad, no bastaba esto y, proponiendo para conseguirlo una nueva acequia, aprobó Su Excelencia mi dictamen y me encargó esta obra. Lo primero que hice fue continuar la de Santo Domingo, desde la puente de las tres parroquias hacia el Poniente por el mismo lugar que tenía antes; proseguí por los barrios de Santa María Teocaltitlán, Atlapa y Tlacopan, hasta salir por detrás del Hospital de San Hipólito a la Puente de Alvarado, que está en la arquería por donde viene el agua de Santa Fe; desde aquí, la guié por tajo nuevo a la puente que tiene la calzada por donde, desde la calle de San Francisco, se va al Calvario y, atravesando el ejido de Zacatengo, acequia del Sapo y ciénegas de Techalocalco que allí se hacen, se termina en la puente de los cuartos, que es en la calzada de Chapultepeque.

Al mismo tiempo que se emprendían y perfeccionaban en México tan diversas obras, se adelantó la del tajo abierto del desagüe de Huehuetoca, cuanto no es decible, y, mientras en parte se reforzaban las albarradas que con providencia detienen las aguas que por él emboacan, se hizo un remangue general de los caídos de tierra que en él había, y de que en extremo se necesitaba, para que las avenidas del

poderoso río de Guautitlán y las que por la barranca de Tesayuca vienen de los llanos de Pachuca y en otros tiempos llenaban la laguna de Texcuco, y por el consiguiente se le atrevían a México, corriesen por él (como de años a esta parte lo hacen) sin demora alguna.

EL MOTÍN DEL 8 DE JUNIO DE 1692

A causa de la excesiva humedad de ese año de 1691, se perdió la cosecha de trigo. De acuerdo con el relato de De Sigüenza:

Si hasta este día había corrido el año con presunciones de malo, desde hoy en adelante se declaró malísimo, porque al trigo, que ya por el color se juzgaba hecho, se le hallaron vanas las espigas y sin grano alguno; reconocióse sin mucho examen ser el chiahuixtle la causa dello, y si es lo que allá los labradores españoles llaman pulgón lo que, según el vocabulario mexicano, le corresponde a esta voz, bien puede discurrir Vmd. lo que será chiahuixtle. Yo, que en el rollo de los labradores tenía también mi piedra aunque no muy grande, no pude ver en las cañas y espigas de una macolla sino manchas prietas y pequenísimas como las que dejan las moscas hasta que, valiéndome de un microscopio, descubrí un enjambre de animalillos de color musgo, sin más corpulencia que la de una punta de aguja y que sea sutil; tiraba su forma y la de sus pies a la de una pulga, pero con alas cubiertas, como los gorgojos, y ya fuese con estas alas o con aquellos pies, saltaban de una parte a otra con ligereza extraña.

La cosecha de maíz también fue mala:

Comenzaron a levantar sus cosechas los labradores y, estando aún todavía tiernos y llorosos por el mal logro del trigo a que (aunque hasta aquí no lo he dicho, acompañó la cebada y, por comprenderlo todo en una palabra, todas las semillas) no haciendo caso de las cañas que, por haberse aguachinado con la mucha humedad, les faltó mazorca. Al echar mano de las que parecían muy bien granadas, hallando en ellas casi ningún maíz, entre muchas hojas, maldiciendo al año, a las aguas, a las nubes, a las neblinas, a la calma, al chiahuixtle, al eclipse del sol y a su desgraciada fortuna, levantaron una voz tan dolorosa y desentonada, que llegó a México y, al instante que entró por su alhóndiga, se levantó el maíz.

A pesar de las diligencias del virrey conde de Galve para proveer a la ciudad de México de granos de otras regiones, al año siguiente hubo una gran escasez; ésta y la carestía del maíz fueron la causa del amotinamiento de los indios en la ciudad de México, el 8 de junio de 1692. De Sigüenza lo relata con gran indignación:

A nada, de cuanto he dicho que pasó esta tarde, me hallé presente, porque me estaba en casa sobre mis libros y, aunque yo había oído en la calle parte del ruido, siendo ordinario los que por las continuas borracheras de los indios nos enfadan siempre, ni aun se me ofreció abrir las vidrieras de la ventana de mi estudio para ver lo que era, hasta que, entrando un criado casi ahogando, se me dijo a grandes voces: "¡Señor, tumulto!" Abrí las ventanas a toda prisa y, viendo que corría hacia la plaza infinita gente, a medio vestir y casi corriendo, entre los que iban gritando: "¡Muera el Virrey y el Corregidor, que tienen atravesado el maíz y nos matan de hambre!", me fui a ella. Llegué en un instante a la esquina de Providencia y, sin atreverme a pasar adelante me quedé atónito. Era tan extremo tanta la gente, no sólo de indios sino de todas castas, tan desentonados los gritos y el alarido, tan espesa la tempestad de piedras que llovía sobre el Palacio, que excedía el ruido que hacían en las puertas y en las ventanas al de más de cien cajas de guerra que se tocasen juntas; de los que no tiraban, que no eran pocos, unos tremolaban sus mantas como banderas y otros arrojaban al aire sus sombreros y burlaban otras; a todos les administraban piedras las indias con diligencia extraña; y eran entonces las seis y media.

Por aquella calle donde yo estaba (y por cuantas otras desembocaban a las plazas sería lo propio) venían atropellándose bandadas de hombres. Traían desnudás sus espadas los españoles y, viendo lo mismo que allí me tenía suspenso, se detenían; pero los negros, los mulatos y todo lo que es plebe gritando: "¡Muera el Virrey y cuantos lo defendieren!", y los indios: "¡Mueran los españoles y los gachupines (son los venidos de España) que nos comen nuestros maíz!", y exhortándose unos a otros a tener valor, supuesto que ya no había otro Cortés que los sujetase, se arrojaban a la plaza a acompañar a los otros y a tirar piedras. "¡Ea, señoras!" se decían las indias en su lengua unas a otras, "¡vamos con alegría a esta guerra y, como quiera Dios que se acaben en ella los españoles, no importa que muramos sin confesión! ¿No es nuestra tierra? Pues ¿qué quieren en ella los españoles?"

El palacio virreinal fue incendiado, los virreyes se salvaron porque no estaban allí. Los puestos con mercaderías de Europa, que ocupaban la plaza frente al palacio, fueron saqueados. A este respecto De Sigüenza señala:

En materia tan en extremo grave como la que quiero decir, no me atrevería a afirmar asertivamente haber sido los indios los que, sin consejo de otros, lo principiaron, o que otros de los que allí andaban, y entre ellos españoles, se lo persuadieron. Muchos de los que lo pudieron oír dicen y se ratifican en esto último, pero lo que yo vide fue lo primero.

De Sigüenza relata, más adelante, el salvamento del fuego de los archivos de la ciudad, en el cual participó.

Yo también me hallé entonces en el Palacio porque, entregándole el Santo Oleo a un ayudante de Cura, me vine a él; pero, no siendo esta carta relación de méritos propios sino de los sucesos de la noche del día ocho de junio, a que me hallé presente, excusaré, de aquí para lo de adelante, referirme nudamente lo mucho (o nada, o lo que quisieron émulos que nunca faltan) que, sin hacer refleja a mi estado, hice espontánea y graciosamente y sin mirar al premio, cuando, ya con una barreta, ya con una hacha, cortando vigas, apalancando puertas, por mi industria se le quitaron al fuego de entre las manos no sólo algunos cuartos de Palacio, sino Tribunales enteros, y de la Ciudad su mejor Archivo. Basta con esto lo que a mí toca.

Después del motín, el virrey ordenó una serie de medidas que De Sigüenza describe:

Aunque al mismo instante que se acabó el pillaje cesó el tumulto, habiéndose retirado los que causaron a guardar sus robos, con todo, por evitar en la falta del maíz del día siguiente mayor escándalo, despachó Su Excelencia (perseverante el ruido) al Regidor don Juan de Aguirre Espinosa a la Provincia de Chalco, para que hiciese amanecer en México cuanto maíz se hallase; a don Francisco de Sigüenza a escoltar, desde donde las encontrase, hasta esta ciudad, las recuas que venían de Celaya y de la tierra adentro; encargó al Mariscal don Carlos de Luna y Arellano visitase aquella noche todas las panaderías de México, para que se amasase en ellas, para el día siguiente triplicado pan del que solían antes; a otros envió a las carnicerías y aun a las huertas.

Los que se habían salido de la Ciudad la misma noche del domingo, aunque les sobraba la ropa y dinero, no les acompañaba el sustento y, acometiendo a algunas canoas que venían navegando desde Chalco con provisión de maíz, las dejaron sin grano; pero con la actividad con que don Juan de Aguirre y don Francisco de Sigüenza, mi hermano, introdujeron, aquél en otras canoas y éste en las recuas que halló muy cerca, no sólo suficiente sino sobrado maíz, pudo abundar aquel día y quedar para otros en la Ciudad, si su Excelencia, sin más consejeros que su caridad y misericordia, no hubiera mandado que a todos, y con especialidad a la ingrata, traidora chusma de las insolentes indias, se les repartiese graciosamente y sin paga alguna cuanto hubiese entrado.

SOR JUANA INÉS DE LA CRUZ Y SU INTERÉS POR LA CIENCIA

La afinidad de intereses científicos y literarios de De Sigüenza y Góngora y Sor Juana Inés de la Cruz produjo que se estableciera una amistad intelectual entre ambos.

De Sigüenza vivía en el Hospital del Amor de Dios, donde se desempeñaba como capellán, este empleo lo obtuvo gracias a la protección del arzobis-

po Aguiar y Seijas. El científico frecuentaba el convento Jerónimo, que estaba cerca de su residencia. En ese convento tenía su celda la monja poetisa, quien antes de tomar los hábitos se llamó Juana Inés de Asbaje y Ramírez. A menudo De Sigüenza visitaba el convento acompañado de sabios, uno de ellos fue el padre Kino.

Sin duda De Sigüenza inició a Sor Juana en algunos temas filosóficos y la alentó a realizar algunos experimentos físicos, como los que menciona en su **Respuesta a Sor Filotea**. Con esta obra Sor Juana contestó al obispo de Puebla, quien le había escrito bajo ese seudónimo censurándole su interés por las [rateras noticias de la tierra].

En su carta de respuesta, Sor Juana cuenta cómo desde pequeña tuvo curiosidad por las cosas de la naturaleza:

... Estaban en mi presencia dos niñas jugando con un trompo y apenas yo vi el movimiento y la figura, cuando empecé con esta mi locura, a considerar el fácil moto de la forma esférica y cómo duraba el impulso ya impreso e independiente de su causa.

Como se ve, lo que interesaba a la joven Juana de Asbaje era nada menos que el concepto de inercia, que no hacía muchos años había descubierto Galileo. Desde su más temprana niñez sintió el anhelo de estudiar [sólo por ver si, con estudiar, ignoro menos]. Más tarde suplicó a su madre que le permitiera asistir a la Universidad de México, disfrazada de varón.

En la misma carta, se nota en Sor Juana la influencia de la filosofía de Descartes, que seguramente recibió a través de De Sigüenza. Ella se preguntaba cómo podría entender la *Reina de las Ciencias*, es decir la teología, sin el conocimiento de una serie de disciplinas seculares, como la lógica, la retórica, la física, la aritmética, la geometría, la arquitectura y otras.

La tragedia de Sor Juana fue haber nacido en una época en que todos los conocimientos científicos estaban vedados para las mujeres. Como las autoridades eclesiásticas reprobaban su interés en la ciencia, el 8 de febrero de 1694 Sor Juana escribió con sangre de sus venas la renuncia a todas sus posesiones, a los regalos y chucherías de sus admiradores, a los instrumentos matemáticos y músicos, que por tanto tiempo estudiara y usara, y a todos sus libros. Murió poco después, en 1695.

Carlos De Sigüenza y Góngora pronunció la oración fúnebre en el sepelio de Sor Juana:

Quisiera pasar por alto la estimación con la que yo la miro, la veneración que ella ganó por sus obras para hacer manifiesto al mundo cuanto, en la naturaleza enciclopédica y la universalidad de sus letras, está contenido en su ingenio, de manera que se pueda ver que, en una persona, México disfruta de lo que en todos los siglos pasados, las gracias han concedido a todas las mujeres sabias que maravillan grandemente a la historia.

EXPEDICION A LA FLORIDA

De Sigüenza, en su calidad de **Real Cosmógrafo del Reino** y por órdenes del virrey Conde de Galve, en 1693 realizó un viaje de exploración a la Florida, para levantar mapas de la bahía de Pensacola, que sirvieron para poblar esa zona. En esa época, las autoridades del virreinato estaban preocupadas por las intrusiones francesas en la región, por lo que hicieron un esfuerzo tardío por poblarla.

Después de la expedición, De Sigüenza recomendó la ocupación inmediata de la zona. Esa misión fue encargada al capitán Andrés de Arriola, quien aceptó de mala gana. Cuando una embarcación francesa apareció en la entrada de la bahía de Pensacola, Arriola se apresuró a regresar a Veracruz; para justificarse presentó un informe muy crítico del lugar, que ponía en tela de juicio las recomendaciones de De Sigüenza.

El sabio, que en esa época ya estaba muy mal de salud, reaccionó violentamente. Redactó una respuesta en que desbarató lo dicho por Arriola y lo desafió a regresar juntos a Pensacola, apostando su biblioteca [*junto con sus instrumentos matemáticos, telescopios, relojes de péndulo y valiosas pinturas, todo esto valuado en más de tres mil pesos... contra una suma igual puesta por Arriola*], sobre la exactitud de su informe. Pero, estipuló, el virrey debería enviarlos a la Florida en embarcaciones separadas, de otra manera no faltarian ocasiones, afirmaba, de que [*o él me arroje al mar o que yo lo arroje a él*]. Este viaje no llegó a realizarse.

EL TESTAMENTO DE DE SIGÜENZA Y GÓNGORA

De Sigüenza murió el 22 de agosto de 1700, después de varios años de una dolorosa enfermedad. En su testamento dejó la siguiente cláusula:

En cuanto que los médicos y los cirujanos que me atienden en mi enfermedad larga y dolorosa relativa a la orina no han podido determinar si es debido a las piedras biliares o a la vejiga y, puesto que

no hay remedio conocido para el escesivamente severo dolor y tormento que padezco, es mi deseo que quien quisiera que tenga un mal similar pueda recobrar la salud o, a lo menos obtener algún alivio por el conocimiento de la causa de este padecimiento. Sin este conocimiento o experiencia ningún alivio puede hallarse, ni puede aplicarse ninguna medicina que pueda hallarlo. Por tanto, puesto que mi cuerpo ha de volver al barro de donde provino, solicito en el nombre de Dios que, tan pronto como la vida haya partido de mí, mi cuerpo sea abierto por cualesquiera médico o cirujano que deseen hacerlo y que el riñón derecho, y la vejiga cuyo extremo pequeño me va a privar de la vida, y la disposición de los organismos todos sean examinados cuidadosamente. Solicito que cualquiera deducciones sean hechas, se revelen a los demás médicos y cirujanos para que tengan datos para guiarles en administrar a otras víctimas. Lo pido en nombre de Dios que esto se haga por el bien común, y mando que mi heredero no intervenga, pues poco importa que esto se haga con mi cuerpo que, dentro de pocos días ha de ser corrupción y podredumbre.

Uno de los ejecutores del testamento informó:

Su mandato se llevó a cabo y, después de abrirle, se encontró una piedra del tamaño de un hueso de durazno en el riñón izquierdo donde decía que había sentido dolor.

Así, en una época en que aún se pensaba en la disección como una profanación, este sabio mexicano del siglo XVII manifestó, más allá de su muerte, su fe en la ciencia y en sus beneficios para la humanidad.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. De Sigüenza y Góngora C., *Libra astronómica y filosófica*, UNAM, México, 1957.
2. De Sigüenza y Góngora C., *Relaciones históricas*, UNAM, México 1972.
3. Leonard, I.A., *La época barroca en el México colonial*, Fondo de Cultura Económica, México, 1974.
4. Paz, O., *Sor Juana Inés de la Cruz o las trampas de la fe*, Seix Barral, Barcelona, 1982.

CAPÍTULO 13

LA MINERÍA EN MÉXICO DURANTE LA ÉPOCA COLONIAL

LOS PRIMEROS DESCUBRIMIENTOS DE MINAS DE PLATA

En la **Segunda carta de relación** que Hernán Cortés envió al rey Carlos I, relata lo siguiente:

Después que yo conocí del (Moctezuma) muy por entero tener mucho desea al servicio de vuestra alteza, le rogué que, porque más enteramente yo pudiese hacer relación a vuestra majestad de las cosas de esta tierra, que me mostrase las minas de donde se sacaba el oro, el cual con muy alegre voluntad, según mostró, dijo que le placía. E luego hizo venir ciertos servidores suyos, y de dos en dos repartió para cuatro provincias, donde dijo que se sacaba; e pidióme que le diese españoles que fuesen con ellos, para que lo viesen sacar; e asimismo yo le dí a cada dos de los suyos otros dos españoles. E los unos fueron a una provincia que se dice Zuzula (Zacatula) que es ochenta leguas de la gran ciudad de Temixtitán (Tenochtitlán), e los naturales de aquella provincia son vasallos de dicho Muteczuma; e allí les mostraron tres ríos, y de otros me trajeron muestra de oro, y muy buena aunque sacada con poco aparejo, porque no tenían otros instrumentos más de aquel con que los indios lo sacan, y en el camino pasaron tres provincias, según los españoles dijeron... Los otros fueron a otra provincia que se dice Malinaltebeque (Malinaltepec) que es otras setenta leguas de la dicha gran ciudad, que es más hacia la costa de la mar (Océano Pacífico). E asimismo me trajeron muestra de oro de un río grande que por allí pasa. E los otros fueron a una tierra que está en este río arriba, que es una gente diferente de la lengua de Culúa, a la cual llaman Tenis (Tenich), y el señor de aquella tierra se llama Coatelicama, y por tener su tierra en unas sierras muy altas y ásperas no es sujeto al dicho Muteczuma, los mensajeros que con los españoles iban no osaron entrar en la tierra... se determinaron a entrar solos (los españoles), e fueron muy bien recibidos, y les mostraron siete u ocho ríos de donde dijeron que ellos sacaban el oro, y en su presencia lo sacaron los indios y ellos me trajeron muestra de todo; y con los dichos españoles me envié el dicho Coatelicamat ciertos mensajeros suyos, con los cuales me envié a ofrecer su persona y tierra al servicio de vuestra sacra majestad y me envié

ciertas joyas de oro... Los otros fueron a otra provincia que se dice Tuchtebeque (Tuxtepec) que es casi el mismo derecho hacia la mar, doce leguas de la provincia de Malinaltebeque, donde ya he dicho que se halló oro; e allí les mostraron otros ríos, de donde asimismo sacaron muestras de oro.

Modesto Bargalló en su obra **La minería y la metalurgia en la América española durante la época colonial**, anota:

Pasados los primeros años de la conquista, de rescate y despojo de metales preciosos, cuyo valor, como lo señala el historiador Alfonso Teja Zabre, no fue suficiente "ni siquiera para compensar los gastos de las expediciones militares", llegó el momento de buscar los metales en el propio terreno, orientados, especialmente para el oro, por los datos proporcionados por Moctezuma, o por los indígenas, o por la relación de pueblos tributarios. Según dice Bernal Díaz del Castillo en "La verdadera historia de la conquista de la Nueva España": "En los libros de Moctezuma mirábamos de donde traén los tributos de oro y dónde había mina".

Sin embargo, durante la época colonial la gran riqueza minera de México se basó fundamentalmente en la plata; el oro jugó un papel secundario. Las primeras minas de plata que explotaron los españoles en Nueva España fueron las de Taxco y Zumpango (Guerrero), Sultepec (México) y Tlalpujahu (Michoacán).

Las primeras minas de plata de Taxco se descubrieron en 1534; seguramente en esta zona el beneficio de la plata fue precedido por el del cobre y estaño, dada la necesidad que Cortés tenía del bronce para fabricar cañones. En 1546 Juan de Tolosa descubrió las minas de plata de Zacatecas. En Guanajuato la primera veta de plata fue descubierta en 1548 por unos arrieros de don Juan de Rayas, que, en tránsito a Zacatecas, pernoctaron sobre un crestón y advirtieron la mena de plata en las piedras con que rodearon la hoguera para preparar sus alimentos. Las minas de plata de Pachuca y Real del Monte se descubrieron en 1552; en la obra **Descripción de las minas de Pachuca**, de autor anónimo, se lee:

Alonso Rodríguez Salgado, mayoral de una estancia de ganado menor hizo el tal descubrimiento de minas andando respastando en el término del pueblo de Pachuca, cerca de una estancia de cabras de Tlautilpa, en unos cerros llamados el uno de la Madalena y el otro Cristóbal, que tienen las cumbres coronadas de peñas vivas como crestas, y de mucha vetería, que corre de levante a poniente. Registró la mina descubridora y otras de México, ante Gregorio Montero

escribano mayor de minas año de mil quinientos y cincuenta y dos, a veintinueve de abril.

En 1552 también se descubrió el riquísimo yacimiento de hierro del Cerro del Mercado (Durango).

Es interesante hacer notar que las minas de los lugares antes mencionados se han explotado durante varios siglos y algunas siguen en explotación.

EL INVENTO DEL MÉTODO DEL BENEFICIO DE PATIO POR BARTOLOMÉ DE MEDINA

Inicialmente, la plata se obtenía por fundición en hornos alimentados con carbón de leña. Este procedimiento era costoso, especialmente cuando se empleaban minerales de baja ley.

En 1555 Bartolomé de Medina inventó, en una mina de Pachuca, el método del beneficio de patio, que revolucionó la metalurgia de la plata en México y Perú, permitió bajar los costos y recuperar más plata de minerales de baja ley. En un documento manuscrito del propio Bartolomé de Medina, fechado en Jilotepec (Xilotepec, estado de México) el 29 de diciembre de 1555, se relata así este invento:

Digo yo, Bartolomé de Medina: que por cuanto yo tuve noticia en España, de pláticas con un alemán que se podía sacar la plata de los metales sin fundición ni afinaciones y sin otras grandes costas; y con esta noticia determiné venir a esta Nueva España dejando en España mi casa e mi muger e hijos, y vine a probarlo por tener entendido que saliendo con ello, haría gran servicio a Nuestro Señor e a su Majestad e bien a toda esta tierra y venido que fui a ella, lo probé muchas y diversas veces y habiendo gastado mucho tiempo, dineros y trabajo de espíritu y viendo que no podía salir con ello, me encomendé a Nuestra Señora y le supliqué me alumbrase y encaminase para que pudiese salir con ello e le ofrecí que en su nombre haría limosna de la cuarta parte de todo el provecho que ubiese de la merced que el ilustrísimo señor visorrey en nombre de su Majestad me hiciese, dándolo a pobres y plugo a Nuestra Señora de alumbrarme y encaminarme a que saliese con ello e visto por el ilustrísimo señor don Luis de Velasco el gran servicio que de ello redundaba a la hacienda de su Majestad y generalmente a toda esta tierra, me hizo merced en nombre de su Majestad de que nadie dentro de seis años no lo pudiese usar, si no fuese pagándomelo con un tanto que a nadie pudiese llevar más de trescientos pesos de minas.

Respecto a este descubrimiento, Velázquez de Salazar comenta en su trabajo **Petición de la ciudad de México sobre el repartimiento general y perpetuo de la Nueva España**, publicado en 1571:

El trato de las minas decayó grandemente y la tierra con él hasta que también socorrió Nuestro Señor a esta necesidad con quel año de cincuenta e tres vino aquí un Bartolomé de Medina que dió la primera orden del beneficio de los metales con azogue, y con ello se ha sacado muy mayor suma de plata que se sacaba antes por fundición y así casi todos deshicieron los ingenios a fundir e los hornos dellos y armaron mazos para moler.

En 1591, el doctor mexicano Juan Cárdenas describió así el procedimiento del beneficio de patio:

Toman el metal y muélenlo muy bien, y después amazando con su salmuera, y encorporando con tantas libras de azogue, más o menos según la ley del metal, y ya después que al cabo de algunos días* se presume aver dado el metal la ley (que es abrazarse la plata y el azogue) haze el minero lavar el dicho metal y yéndose el barro, y arena del metal con el agua queda como más pesada en el fondo de la tina aquella massa o pella de plata, y azogue, después apartan con fuego el azogue de la plata y esto se llama sacar plata por azogue.

El beneficio de patio consistía, por lo tanto, en una aplicación del procedimiento de amalgamación, que se había utilizado desde la antigüedad en pequeña escala para separar distintos metales. En el método desarrollado por Bartolomé de Medina se usaba el mercurio (azogue) para separar la plata del mineral en la forma descrita por el doctor Juan Cárdenas. La trascendencia del invento de Bartolomé de Medina puede apreciarse por los siguientes hechos, citados por M.F. Lang en su obra **El monopolio estatal del mercurio en el México colonial (1550-1710)**:

En Europa, el barón Von Born, eminente hombre de ciencia austriaco que inspiró a Mozart el personaje de Sarastro en la ópera La flauta mágica, elaboró en la segunda mitad del siglo XVIII un sistema de beneficio de la plata a base de mercurio, que fue de gran utilidad en el Viejo Mundo, para el cual se basó principalmente en un tratado sobre la amalgamación escrito en el siglo XVII por el autor peruano Alonso Barba, el cual había adaptado el método de Bartolomé de Medina a las condiciones de las minas de Perú. En 1776 el rey de España Carlos III, impresionado por las noticias que recibió acerca del método del barón Von Born, envió tanto a la Nueva España como al Perú misiones tecnológicas alemanas para introducir ese método en sus minas de plata. La comisión que llegó a la Nueva España fue presidi-

* Hasta tres meses, precisa más adelante. Nota del compilador.

da por Fausto de Elhuyar, quien sería director del Real Seminario de Minas y el técnico alemán principal era Friederich Sonneschmid. Se realizaron experimentos en los principales centros mineros, comprobándose que el procedimiento alemán costaba más y producía menos plata que el procedimiento utilizado en las minas de México. Sonneschmid se fascinó con la amalgamación tal como se practicaba en México, tanto que en vez de regresar a Europa se quedó diez años en el país estudiando cómo se usaba el mercurio en los diversos centros mineros. Sus conclusiones aparecen en su "Tratado de la amalgamación de Nueva España", publicado en 1825, en el que dice: "Todos los demás métodos de beneficiar minerales de plata por azogue deben respetar esta primera y original amalgamación como a su madre y origen... conviene que se extienda su conocimiento en Europa para hacer justicia a este sobresaliente método que la pre-ocupación europea ha tratado con bastante desprecio".

En la obra de Duport, **De la producción de metales en México**, publicada en 1843, se encuentran datos que comprueban que el método del beneficio de patio alcanzó desde el principio un alto grado de perfección:

De 1570 a 1585 se beneficiaron en Nueva España 2 370 quintales por el método de patio, o sea 237 000 libras, que produjeron 774 y $\frac{1}{4}$ marcos de plata con pérdida de 581 libras de azogue, o sea que el peso de plata era al mineral como 16 a 10 000 y la pérdida de azogue 12 onzas por marco; proporción que es exactamente la misma que en 1843 se observaba en los minerales y en la amalgamación.

... No puede menos de parecer muy extraño que el Antiguo Continente no haya podido dar al Nuevo Mundo (hasta 1843) modificaciones útiles al descubrimiento de Medina, que por espacio de tres siglos se ha estado practicando, sin que los progresos hechos en la química hayan podido introducir ninguna variación notable.

El ingeniero A. Grothe, quien dirigió a principios de este siglo algunas minas mexicanas, expone en uno de los informes y memorias del Instituto Mexicano de Minas y Metalurgia, publicado en 1912, que el descubrimiento de Bartolomé de Medina fue admirable y mucho más perfecto que los métodos de beneficiar minerales que se usaban a principios del siglo XIX; afirma que ningún otro procedimiento, hasta la llegada de la cianuración, ha podido igualarlo en los resultados; que el método está admirablemente adaptado a los recursos disponibles y a las necesidades de México, y que ha sido de utilidad incalculable para la industria minera.

El obstáculo principal con que se tropezó para la aplicación del método de Bartolomé de Medina en las minas de plata de la Nueva España fue la escasez de mercurio. La mayor parte de este elemento tenía que traerse de Espa-

ña, del producido por las minas de Almadén y, en algunas ocasiones, de las minas de Huancavelica, en el Perú. Una de las primeras minas de las que se obtuvo mercurio en México fue la de Temascaltepec, que se explotó hacia 1580; la única de cierta importancia fue la de Chilapa, que empezó a explotarse en 1664.

LA PRIMERA ÉPOCA DE BONANZA DE LAS MINAS DE PLATA (1550-1635)

La minería de la plata en México tuvo un primer periodo de bonanza en la segunda mitad del siglo XVI y primeras décadas del XVII. Respecto a esta época, Brading, en la introducción a su obra **Mineros y comerciantes en el México borbónico**, señala lo siguiente:

El descubrimiento de minas argentíferas empujó a los españoles mucho más allá de las fronteras del imperio azteca, hacia las amplias extensiones del norte llamadas entonces la Gran Chichimeca por los cazadores indígenas salvajes y nómadas que las recorrían. Porque aunque habrían de encontrarse ricos depósitos de plata en las cercanías de la ciudad de México —en Pachuca, Sultepec, Tlalpujahua y Taxco— las zonas mineras que más mineral producían se encontraban en el norte, dispersas en las estribaciones de la Sierra Madre que se internan hacia la Mesa del Norte, y que se localizan en su mayor parte sobre una línea que va de Pachuca a Sonora. La producción en gran escala se inició en el decenio de 1550 a 1560, después del descubrimiento de minas en Zacatecas (1546), Real del Monte (1552), Pachuca (1552), Guanajuato (1550) y una serie de vetas menores en el norte. Si bien la curva de la producción ya no siguió subiendo después de 1590, no resintió una reducción considerable sino hasta después de 1630, y así el desarrollo de la producción argentífera coincidió con la desaparición del sistema de encomiendas y llegó a su punto más alto cuando los efectos principales de la crisis demográfica ya habían dejado su huella.

Es difícil localizar documentos que nos den luz sobre cuáles eran las zonas mineras que producían la mayor cantidad de plata, pero sabemos que en 1632, las dos terceras partes del mercurio que consumió la minería se distribuyeron en el norte, comprendiendo en esta denominación a Guanajuato, y una tercera parte de esta cantidad fue consumida por las minas dependientes de la hacienda real de Zacatecas. Esta preponderancia de la zona norte en la riqueza minera fue el factor que en realidad hizo que se iniciara allí la colonización, ya que pronto cada campo minero se vio rodeado por un grupo de haciendas que dependían de él. La mayoría de estas fueron organizadas por empresarios mineros que necesitaban grano para sus jornaleros y para sus mulas, así como madera, cuero y otras materias pri-

mas para las minas. La prosperidad de las haciendas del norte siguió de cerca los pasos del progreso de la minería.

Las utilidades proporcionadas por la minería sufragaron los gastos de la conquista de provincias enteras. Francisco de Ibarra, por ejemplo, financió la colonización de Nueva Vizcaya (hoy estado de Durango) con la fortuna que reunió su tío en Zacatecas. Del mismo modo, el conquistador de Nuevo México, Juan de Oñate, heredó una fortuna de un tío, que era otro minero de Zacatecas.

También las grandes propiedades de Francisco de Urdiñola en Coahuila, que más tarde fueron base del marquesado de San Miguel de Aguayo, eran respaldadas en gran parte por sus minas de plata.

El viajero italiano Gemelli Careri relata así una visita que realizó a las minas de Pachuca en abril de 1697:

Aunque todos mis amigos trataron de disuadirme de mi propósito de ir a visitar las minas de Pachuca, que son muy profundas, sin embargo habiendo tomado esa resolución, me puse en camino el miércoles 17 de abril...

El jueves, después de haber recorrido seis leguas en una comarca en unos tramos plana y en otros montañosa, llegué a Pachuca, donde me alojé en casa de Dominico de La Rea, principal oficial encargado de los tributos del rey. Siendo mi único propósito el ver las minas, enseguida que terminamos de comer me hizo conducir por su yerno a dos de las más próximas, alejadas sin embargo una media legua, por un camino difícil y escarpado. Las dos eran muy profundas. La primera, llamada de Santa Cruz, tenía más de setecientos pies de profundidad y la segunda, llamada Navarro, más de seiscientos. Se saca la plata (el mineral) de la primera con malacates. Es una rueda que tiene un eje largo, alrededor del cual hay una cadena en lugar de cuerdas uno de cuyos extremos sube con el metal y el segundo descende para buscar más: se mueve la máquina con cuatro mulas amarradas a una pieza de madera que atraviesa el eje. Se trabaja en esa abertura con dos malacates, uno para sacar el metal y el otro para vaciar el agua, que de otra manera impediría trabajar. Descendí cinco escaleras, o árboles, pero el minero no quiso dejarme pasar más adelante, temiendo que me cayese: realmente, los árboles por los que se descende estaban mojados y el pie podría haber resbalado fácilmente al buscar el escalón. Pasé enseguida a la mina de Navarro donde los indios llevaban el metal a cuestras, con gran peligro de su vida y subían un gran número de escaleras o más bien de árboles con los escalones tallados. Hacen este oficio por cuatro reales al día; pero por la tarde se les permite llevarse todo el metal que puedan cargar y que después reparten con el propietario. Hacía cinco meses que trabajaban para abrir un pasaje de comunicación bajo tierra, de una a otra mina, para hacer pasar el agua de la de Navarro a la de Santa Cruz, que es más profunda: hasta ese día los mineros no se habían

encontrado todavía, pero estaban tan próximos que oían los golpes que daba el otro grupo.

La producción de plata decayó durante gran parte del siglo XVII, especialmente en las minas del norte, a partir de 1635, y no se recuperó totalmente sino hasta la segunda mitad del siglo XVIII. Se ha tratado de explicar esta crisis de la producción por la disminución de la población indígena. Sin embargo, la razón principal parece residir en la reducción de suministro de mercurio, tanto por la insuficiencia de la producción de las minas de Almadén en esa época, como por el precio elevado del mercurio.

LOS TRABAJADORES MINEROS Y LAS RELACIONES LABORALES

Inicialmente, la fuente de mano de obra para las minas era el trabajo forzado de los indios. Entre las diez plagas que, según Motolinia, hirieron a los naturales de las tierras de la Nueva España, estaba el servicio de las minas, el cual causó una gran disminución de la población indígena. Motolinia escribió hacia 1535: *[En aqueste tiempo muchos pueblos se despoblaron, ansi de la redonda de las minas como del camino; otros huían a los montes e dejaban sus casas].*

Sin embargo, la disminución de la población, la baja productividad del trabajo forzado y la promulgación de las Nuevas Leyes de 1542, condujeron, por una parte, a la aparición de trabajadores libres o naborías y por otra, a la utilización de esclavos negros en los trabajos de las minas. Brading señala en su obra antes citada:

Hacia fines del siglo XVI las minas del Centro, de Guanajuato y de Zacatecas tenían empleados hombres de las siguientes categorías:

Esclavos Negros	1 022
Indígenas libres	4 606
Indígenas forzados	<u>1 619</u>
	7 247

Casi todos los trabajadores forzados laboraban en minas relativamente cercanas a la capital del virreinato — en Taxco y Pachuca— mientras que en Zacatecas casi todos los indígenas eran libres y recibían un salario. Debe hacerse notar que los esclavos negros se empleaban para la fase de refinación, porque no soportaban los rigores del trabajo en las profundidades de los tiros de minas.

P. J. Bakewell, en su obra **Minería y sociedad en el México colonial**, describe así esta categoría de trabajadores libres:

No obstante, eran los indios los que formaban la parte mayor y más útil de la fuerza de trabajo, y desde los primeros tiempos comenzaron a llegar en gran número a Zacatecas procedentes del Sur. Eran los llamados naborías, que en términos generales quería decir trabajadores libres. En 1550 prohibió La Marcha a los jueces de la ciudad que intentaran asignar a los mineros a aquellos indígenas que llegaban por su propia y libre voluntad a Zacatecas, y dispuso que se les permitiera trabajar por un salario con quien quisieran.

Es muy escasa la información sobre salarios y de cualquier manera los sueldos en efectivo que llegan a mencionarse son poco indicativos de lo que en realidad ganaba un indígena y del verdadero costo de la mano de obra para el minero. Esto es así por la dificultad de asignar un valor en efectivo al pago en especie que muchos operarios recibían principalmente en forma de una parte del mineral, alimentos y casa. La Marcha dispuso que el salario máximo fuera de cuatro reales por semana, y cincuenta años más tarde Mota y Escobar se encontró con que los barreteros ganaban de cinco a ocho pesos mensuales; nos dejó escrito lo que sigue "...para este indio lo de menos es el salario, en respecto de las piedras de rico metal que él va entresacando de toda la gruesa que ellos llaman entre sí pepena...". La pepena era la cantidad de mineral de alta calidad, tan rico que podía fundirse, que se permitía a los trabajadores recoger llenando una bolsa para su propio beneficio, una vez que habían cumplido con su tequio del día. Este mineral lo vendían al mejor postor, que en la mayor parte de los casos era el dueño de alguna pequeña fundición. No obstante, había casos en que el patrón mismo compraba la pepena a sus operarios y en otros el trabajador mismo la fundía extrayendo la plata para venderla o para gastarla. Es indudable, pues, que la pepena valía para el indio más que el salario, y aunque significaba que el patrón renunciaba a una parte del mineral extraído de su mina, tenía la ventaja de fomentar que los trabajadores indígenas hicieran exploraciones para extender la mina en que laboraban, beneficiando así al patrón. La pepena entonces puede considerarse como un premio muy primitivo a la productividad.

Esta participación del trabajador minero en la producción, que recibió el nombre de *pepena* en las minas del norte y más adelante el de *partido* en las del centro, se utilizó a lo largo de toda la época colonial y aún a principios de la época independiente.

Brading describe como sigue el pago a los mineros libres:

El sistema de pago por el trabajo libre variaba de un campo a otro. La práctica más común era dar a todos los trabajadores, ya fueran barreteros, barrenadores, tenateros o malacateros un salario

diario normal de 4 reales. Puede compararse esta cifra con lo que ganaban los peones de hacienda, de 1 1/2 a 2 reales diarios más comida y tierra. Pero lo que en verdad atraía a los hombres hacia las minas no era el salario, sino el hecho de que se les daba una comisión en forma de mineral. El monto de estas participaciones, llamadas *partidos*, también era muy variable. En Guanajuato y Real del Monte, una vez que el trabajador completaba su cuota diaria de mineral, obtenía el 50 por 100 de lo demás que extrajera durante el resto del día. La otra mitad correspondía al patrón. El capataz estaba encargado de que la división fuera justa. En otros campos, en cambio, correspondía al trabajador un porcentaje sobre la totalidad del mineral extraído. En Zacatecas y más al norte, éste llegaba a una cuarta parte del total, pero en Tlalpujahua José de la Borda sólo daba una doceava parte. En Catorce, en los primeros tiempos, la proporción llegó a elevarse hasta la tercera parte, y aún la mitad, pero cuando los *partidos* eran tan grandes, los trabajadores generalmente no recibían salario; en Bolaños, por ejemplo, no se les pagaba más que la tercera parte del mineral que extrajeran. Este último arreglo era semejante a la práctica común en toda la minería, de que los patrones pobres admitieran a sus trabajadores como socios, concediéndoles la mitad del mineral, pagando ellos casi únicamente los costos generales, tales como los de desagüe. Esto, a pesar de todo, podía ser la ruina de una mina, porque los buscones pronto sentían la tentación de destruir los pilares de mineral que eran el único elemento de sostén de los túneles de trabajo. De todas maneras, cualquiera que fuera el sistema de pago, la mayoría de los trabajadores mineros de México esperaban una participación en las ganancias, y siempre trataban de colocar en sus propias bolsas el mineral más rico. Se hicieron varios intentos para reformar este sistema, pero no tuvieron éxito, ya que los mineros eran bien conocidos por su tendencia al desorden y al motín. Muchos patrones, entonces toleraban que el mejor mineral de sus minas fuera vendido por sus trabajadores a los refinadores independientes.

En 1766, Pedro Romero de Terreros, conde de Regla, propietario de las minas de Real del Monte, trató de suprimir el *partido*, lo que dio lugar a una disputa laboral que se prolongó hasta 1775. En ese año el virrey Bucareli resolvió el conflicto a favor de los trabajadores, consideró imprudente y contraproducente abolir la antigua costumbre del *partido*, ya que de acuerdo con la recomendación de Gamboa, los barreteros de las minas de Real del Monte tenían derecho a un *partido* equivalente a la mitad del mineral que excediera la tarea o tequio que se les fijara en su turno de 12 horas.

Este grave conflicto laboral fue una de las causas que motivaron la redacción de nuevas ordenanzas para las minas.

EL AUGE DE LA MINERÍA DE LA PLATA EN LA SEGUNDA MITAD DEL SIGLO XVIII

La época de mayor esplendor de la minería correspondió a la segunda mitad del siglo XVIII. Se descubrieron nuevas y riquísimas minas en Guanajuato, Real del Catorce y Real del Monte. Las minas de Taxco de don José de la Borda tuvieron su época de bonanza de 1748 a 1757. Pasada la bonanza de Taxco, De la Borda buscó mejor suerte en Real del Monte (1760), donde al parecer se asoció con el Conde de Regla. Después, de la Borda se trasladó a Zacatecas, allí perdió grandes sumas en su intento de desaguar la mina Quebradilla; sin embargo, abrió el pozo La Esperanza, excavó la veta grande y con esto logró nuevas riquezas. Se estima que José de la Borda, en sus diversas etapas favorables de Tlalpujahua, Taxco y Zacatecas, ganó 40 millones de pesos.

La famosa mina de plata **La Valenciana**, de Guanajuato, fue iniciada en 1760 por el humilde español Antonio Obregón y Alcocer. Durante siete años Obregón perforó 60 m del pozo San Antonio, se impuso toda clase de privaciones y agotó sus recursos económicos, pero no abandonó la empresa. En 1767 se asoció con Pedro Luciano Otero, comerciante de Rayas; al año siguiente empezaron a obtener utilidades. Después de algunos años la profundidad del pozo excedió los 200 m. Obregón y Otero abrieron nuevos tiros sobre la veta: el de Santo Cristo de Burgos, hasta 150 m; el hexagonal de Nuestra Señora de Guadalupe alcanzó 345 m, con un costo de 700 mil pesos. La veta madre continuó mostrando sus inmensas riquezas. En 1801 decidieron abrir el pozo general del Señor San José, su perímetro era octogonal, de 26 8 m; en 1815 este pozo alcanzó la veta madre, a 514 m de profundidad. Humboldt calificó esta obra como una de las empresas más grandes y más audaces.

Obregón y Otero, que en un principio explotaron solos **La Valenciana** (más tarde se les unió Diego Rul), ganaron cada uno durante varios años millón y medio de pesos anuales. Obregón, distinguido ya con el título de Conde de Valencia, *[conservó en meo o de sus inmensas riquezas la sencillez de costumbres y franqueza de carácter que siempre le distinguieron en la época menos feliz]*, según relata Humboldt en su trabajo **Ensayo político sobre el Reino de la Nueva España**, publicado en 1811.

En 1803, en los diversos pozos de **La Valenciana** trabajaban 342 barrenadores, 342 piquiadores, 377 quebradores, 680 tenateros, 180 faeneros, 111 malacateros y 64 norieros; además, 501 trabajadores se ocupaban co-

mo carpinteros, herreros, albañiles, vigilantes y administradores. Había un médico y un administrador general, éste con 200 pesos semanales de sueldo. En total, 3 325 empleados.

La Valenciana durante algunos años dio más plata que todas las minas del reino de Perú y siete veces más que la de Freiberg, una de las más ricas de Europa.

Otra mina muy rica fue la veta Vizcaína, de Real del Monte, que constituye el filón principal o veta madre del sistema de la zona de Pachuca. Las minas de Real del Monte en un principio eran impracticables por inundación. Don Isidro Rodríguez emprendió su desagüe en 1739, construyó un socavón o túnel que fue muy famoso en la segunda mitad del siglo XVIII, se lo llamó **Socavón de Morán**. Rodríguez comenzó la obra en 1749, a los cinco años había minado 14 m. El socavón lo continuaron en 1759 el minero Alejandro Bustamante y su compañero Pedro Romero de Terreros, a quien Carlos III otorgó en 1768 el título de Conde de Regla.

La veta Vizcaína de las minas de Real del Monte produjo hasta 1781, fecha de la muerte del primer Conde de Regla, 15 millones de pesos, y de 1794 a 1801 otros 6 millones.

La inundación de las minas de plata ha sido uno de los mayores obstáculos a que se han enfrentado los mineros en México, como lo señala el doctor Elías Trabulse en su artículo **El origen de la tecnología mexicana: el desagüe de minas en la Nueva España**.

Desde los primeros decenios coloniales los mineros hubieran de ingeniárselas para resolver ese problema. Ya para 1567, los mineros de Zacatecas se quejaban de que las minas profundas estaban inundadas. El mismo problema aquejaría a las de Sombrerete 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.

El uso de estos medios de desagüe se prolongó durante toda la época colonial. A este respecto es interesante señalar que en 1763, el presbítero José Antonio de Alzate propuso utilizar para el desagüe de las minas la máquina llamada de fuego, que Newcomen desarrolló en Inglaterra. Alzate la describe así:

Por la condensación de vapores se forma un vacío, y el aire por su peso hace descender el émbolo a la parte inferior; de modo que la falta de equilibrio hace mover la máquina; cuando se abre el regulador los vapores hacen su efecto, y cuando se cierra y se abre el tubo de inyección, la atmósfera ejecuta los efectos de su pesadez en la parte superior del émbolo.

Años más tarde, en 1784, Alzate recordaba con insistencia esta opción que no había hallado eco entre los mineros:

¿El malacate será la única máquina proporcionada para el desagüe de las minas? ¿No se podrá construir la máquina de fuego, o que se mueve por medio del vapor del agua y que publicó descrita en 1768?

Sin embargo, las bombas movidas por máquinas de vapor no se utilizaron en México sino hasta la época independiente, cuando las introdujo una compañía minera inglesa que explotó las minas de Real del Monte.

VELÁZQUEZ DE LEÓN Y LAS ORDENANZAS DE LA MINERÍA

Dos mineros americanos, Francisco Javier de Gamboa y Joaquín Velázquez de León, contribuyeron de manera importante al auge de la minería de la plata en la segunda mitad del siglo XVIII. Francisco Javier de Gamboa publicó en 1761 su obra **Comentarios a las ordenanzas de minas**, que ejerció gran influencia en esa época; en este trabajo se recomendaba se redujera el precio del mercurio y se creara un banco para financiar a los mineros. Estas medidas que apoyó el visitador José de Gálvez (posteriormente ministro de Indias y presidente del Consejo de Indias), constituyeron las causas principales del renacimiento de la minería.

El otro minero, Joaquín Velázquez de León, procedía de una vieja familia minera; nació en una hacienda de Sultepec, estado de México. El historiador Roberto Moreno señala en el número 2 de 1979 de la **Revista Ingeniería**, que Velázquez de León fue [*distinguido matemático, químico, metalurgista, excelente astrónomo y competente perito minero*]. A él se deben las ideas fundamentales para la reformá de la minería y para la creación del Real Seminario de Minería; tales ideas fueron expuestas en el trabajo **Representación que a nombre de la minería de esta Nueva España hacen los apoderados de ella, D. Juan de Lassaga y D. Joaquín Velázquez de León**, publicado en México en 1774. En esta obra se señala:

Pensar (como algunos piensan) que por medio de una práctica ciega y desnuda de todo principio científico, se puede llegar a la perfección de que es capaz la minería, es lo mismo que persuadirse a que se puede navegar en alta mar con un práctico y sin la dirección de un sabio piloto; que se puede fortificar una plaza y conseguirse diestramente su ataque o su defensa sin necesidad de hábiles ingenieros y artilleros; y, en fin, que se puede construir un templo o un palacio magnífico con solo el sobrestante y los obreros albañiles.

Como consecuencia de estas propuestas, por real cédula del 1o. de julio de 1776, otorgada por Carlos III, se ordena que el gremio de minería se erija en un cuerpo formal. El 4 de febrero de 1777 se establece el **Importante cuerpo de la minería de la Nueva España**, del que fue director general Velázquez de León desde su creación hasta 1786, año en que falleció este distinguido hombre de ciencia.

El 11 de agosto de 1777 el virrey Bucareli dio a conocer la creación del Real Tribunal General del Importante Cuerpo de la Minería de Nueva España. Se le concedió al Tribunal la facultad, pedida por los mineros de la Nueva España, de crear un Banco de avíos para el fomento de las minas, de establecer un Colegio Metálico, y de disponer de los fondos necesarios mediante el cobro de la mitad o de las dos terceras partes del derecho de señoreaje con que se contribuía a la hacienda real.

LA PRIMERA ESCUELA DE INGENIERÍA EN MÉXICO

En 1783 se promulgaron las **Ordenanzas de la Minería**, que en su título 18º decretaron la creación del Real Seminario de Minería. Este seminario se inauguró el 1o. de enero de 1792, durante el virreinato del Conde de Revillagigedo, constituyó la primera escuela de ingeniería en México.

El Seminario de Minería empezó a funcionar en la ciudad de México, en el edificio situado en el número 90 de la calle de Guatemala. Este inmueble, por acuerdo presidencial publicado el 28 de agosto de 1980 en el **Diario Oficial**, se incorporó al dominio público y se destinó al servicio de la Sociedad de Exalumnos de la Facultad de Ingeniería de la UNAM.

El primer director del Seminario de Minería fue don Fausto Elhuyar, [*de nombre ilustre en los anales de la química*], según Humboldt. La fama de Elhuyar se debía a que con su hermano Juan José descubrió el wolframio, cuando ambos eran profesores del Instituto Patriótico de Vergara, en el país vasco español. Elhuyar ocupó el puesto de director durante 33 años.

El título 18° de las **Ordenanzas de la Minería** caracterizaba así a la nueva institución de enseñanza:

Título 18°

De la educación y enseñanza de la juventud destinada a las Minas, y del adelantamiento de la Industria en ellas.

Artículo 1°

Para que nunca falten sujetos conocidos, y educados desde su niñez en buenas costumbres, e instruidos en toda la doctrina necesaria para el más acertado laborio de las Minas, y que lo que hasta ahora se a conseguido con prolixas y penosas experiencias por largos siglos y diversas Naciones, y aún por la particular y propia industria de los mineros americanos, pueda conservarse de una manera más exacta y completa que por la mera tradición, regularmente escasa y poca fiel, es mi Soberana voluntad y mando que se erijan y establezcan, y se hallaren ya establecidos se conserven y fomenten con el mayor esmero y atención, el Colegio y Escuelas que para los expresados fines se me propusieron por los Diputados Generales del referido importante Cuerpo de Minería, y en la forma y modo que se ordena en los siguientes artículos.

2

Se han de dotar y mantener de comida y vestido con la correspondiente regular decencia, por ahora veinte y cinco niños Españoles, o Indios nobles de legítimo nacimiento, siendo siempre preferidos los descendientes o parientes próximos de Mineros, principalmente aquellos cuyos padres estuvieran avecindados en los Reales de Minas.

3

Concedo libre entrada a las Escuelas y la instrucción gratuita, a todos los niños cuyos padres o tutores quisieren ponerlos en esta carrera, yendo para ello desde sus casas diariamente a asistir a las lecciones; y mando también que se admitan a vivir en el Colegio a pupilaje todos los que, teniendo las circunstancias de calidad y nacimiento preñidas, pagaren su manutención.

Sobre la elección de los profesores se establecía:

4

En dicho colegio se han de poner los necesarios Profesores secu-

lares, y bien dotados, para que enseñen las Ciencias, Matemáticas, y Física experimental conducentes al acierto y buena dirección de todas las operaciones de la Minería.

5

Asimismo ha de haber Maestros de las Artes mecánicas necesarias para preparar y trabajar las maderas, metales, piedras y demás materias de que se forman las Oficinas, Máquinas e Instrumentos que se usan en el laborio de las Minas y beneficio de sus metales, y también un Maestro de dibujo y delineación.

10

Para elegir y nombrar los Maestros profesores de las Ciencias que se deben enseñar en las Escuelas del Colegio se pondrán Edictos convocatorios con término y emplazamiento señalado, y á los que se presentaren se les repartirán sorteados algunos Problemas de la respectiva facultad, los cuales deberán presentar resueltos dentro de tercero día; pero con prevención de que antes que se les repartan y entreguen los tales problemas deberá el Director presentar al Real Tribunal las resoluciones de todos ellos en pliegos cerrados y sellados con separación, los cuales no se podrán abrir sino cuando cada Opositor hubiere presentado sus resoluciones, para hacer el debido cotejo entre unas y otras. Y en el mismo día en que esto se verifique tendrá el Opositor una sesión pública de dos horas sobre los puntos que le moviere el Director extemporáneamente, y en presencia del Real Tribunal de su Escribano, que dará fe del Acto, y lo sentará en su respectivo registro.

11

Concluidos los expresados Actos públicos propondrá el Director tres de los Opositores para cada profesión, de los cuales elegirá uno el Real Tribunal por votos secretos; y en caso de discordia por igual número de ellos será preferido entre los electos el que hubiese sido propuesto en mejor lugar.

12

Los mencionados Profesores Maestros del Colegio, además de enseñar diariamente por lecciones teóricas y prácticas, estarán obligados a presentar cada uno de seis en seis meses una Memoria o Disertación sobre algún asunto útil y conducente a la Minería, y perteneciente a las facultades aplicables a este ejercicio, las cuales Me-

morias se han de leer al Real Tribunal, y conservarse en su archivo con cuidado para darlas impresas al público cuando pareciere conveniente.

Sobre los estudiantes se disponía:

13

Los Colegiales y Estudiantes del Seminario han de tener cada año Actos públicos a presencia del Real Tribunal de Minería para que, manifestando en ellos su respectivo aprovechamiento, sean premiados y distinguidos a proporción del que acreditaren.

14

Los enunciados jóvenes cuando hayan concluido sus estudios deberán ir a los Reales de Minas a asistir tres años, y practicar las operaciones con el Perito Facultativo de Minas, o con el Perito Beneficiador del distrito a que fueren destinados, para que, tomando Certificación firmada de ellos y de los Diputados territoriales, se les examine en el Real Tribunal así de teórica como de práctica, y, siendo aprobados, se les despachará su Título, sin llevarles por todo lo dicho derechos algunos.

Para fomentar la invención y estimular a los posibles inventores, las **Ordenanzas de la Minería** establecían:

Todos los que inventaren o discurrieren cualquiera especie de Máquinas, Ingenios o Arbitrios, Operaciones o Métodos conducentes a adelantar la industria de la Minería, y que produzcan alguna ventaja aunque al principio parezca pequeña, han de ser oídos y atendidos; y si por su pobreza no pudieren verificar las experiencias de sus inventos como es necesario, se costearán del fondo de la Minería, y también la construcción de las Máquinas siempre que, presentadas en Proyecto, se demuestren y calculen en él sus efectos, y los califiquen y juzgen prácticamente probables el Director General de Minería y los Maestros del Colegio. Pero las ideas mal fundadas por falta de principios o de práctico conocimiento, en que alucinados sus autores fácilmente se prometen ventajas imaginarias y desmesuradas, se repelerán como inútiles y despreciables; y aunque los tales autores insten y repliquen nuevamente, no serán oídos, sino en el caso de que hagan los experimentos a su costa, y se califique por ellos la utilidad de sus invenciones: quedando de todo ello, y en cualquiera caso, el documento competente en el Archivo del Real Tribunal para la debida constancia.

18

Los inventos útiles y aprobados que después de verificados en grande se calificaren por el uso corriente de más de un año, serán premiados con privilegio exclusivo durante la vida de su autor para que nadie use de ellos sin su consentimiento, y sin contribuirle con una moderada parte del provecho y ventaja que efectivamente resultare del uso de la tal invención.

19

El que por su propio estudio, instrucción y noticias, o por haber viajado en otras regiones, presentare alguna Máquina, arbitrio u Operación practicada en otros lugares o tiempos, y fuere aprobada por la calificación y la experiencia en el modo prefinido por el artículo 17 de este Título, ha de ser atendido y premiado de la misma manera que si fuese inventor; pues aunque sea menor su felicidad, puede ser mayor su mérito y trabajo, y la utilidad del público siempre será igual ya resulte de la invención absolutamente nueva, o ya de la transportación o aplicación de una práctica no conocida en el parage donde se establezca.

Don Andrés Manuel del Río fue un profesor destacado del Seminario de Minería, allí ejerció la cátedra de mineralogía desde 1795, al año siguiente de haber llegado a México procedente de España. El historiador Arnáiz y Freg, lo describe así:

Se presentaba a las siete de la mañana en el Colegio de Minería, enfundado en frac de corte irreprochable y cubierto con un sombrero de copa alta. Invariablemente llevaba un libro bajo el brazo... Prefirió enseñar que ponerse a las órdenes de alguna compañía minera y hacerse rico.

En 1801, Del Río descubrió un nuevo elemento químico al que llamó eritronio y que actualmente se conoce con el nombre de vanadio. El descubrimiento, de trascendencia mundial, lo realizó en una antigua cochera adaptada como laboratorio, del edificio del Real Seminario de Minería. El químico analizó una mena de plomo procedente de la mina **La Purísima**, de Zimapán, Hidalgo, en ella encontró 14.88% de un óxido desconocido de una nueva sustancia metálica, a la que llamó primero pancromo, luego eritronio y más tarde eritronio.

Del Río comunicó el hallazgo al abate Cabanilles, quien lo dio a conocer a la comunidad científica a través de los **Anales de Ciencias Naturales de**

Madrid, tomo VI, No. 16, mayo de 1803, Pág. 46. Allí se asienta:

XXIV Género pancromo. Nota. Nueva sustancia metálica anunciada por don Manuel del Río en una memoria dirigida desde México al señor don Antonio Cabanilles, con fecha 26 de septiembre de 1802.

Aunque Del Río no llegó a aislar el metal eritronio (vanadio), su descubrimiento cumplió con todas las condiciones que hoy se exigen para considerar a alguien como descubridor de un nuevo elemento.

Por una serie de circunstancias desafortunadas, el descubrimiento de Del Río no se divulgó en Europa. Así, el vanadio fue redescubierto por Sefstrom en 1830, en las menas de hierro de Taberg. Humboldt, ante el descubrimiento de Sefstrom, reivindicó a Del Río; entregó a Wochler y a Berzelius, en 1830 y 1831, muestras de la mena de Zimapán, para que comprobaran que el vanadio que Sefstrom había hallado en la mena de Taberg, no era otro que el eritronio descubierto por Del Río en aquella mena mexicana.

Como lo señala Modesto Bargalló:

El viejo caserón No. 90 de la actual calle de Guatemala, de la Ciudad de México, que fue sede del Real Seminario de Minería en sus mejores tiempos (1792-1811), puede sentirse orgulloso de ser la cuna del primer elemento químico descubierto en los laboratorios de América, más de un siglo antes de que en los Estados Unidos de Norteamérica o en Canadá se descubriera el segundo (el niobio o columbio).

El Real Seminario de Minería se trasladó en 1811 al hermoso edificio que conocemos actualmente como Palacio de Minería, exponente de la riqueza minera de esa época. Por instrucciones del Tribunal de Minería, en 1797 se inició la construcción de este edificio en un predio de la calle de San Andrés, hoy calle de Tacuba, de acuerdo con los planos de Manuel Tolsá.

Del Seminario de Minería egresaron varias generaciones de lo que hoy llamaríamos ingenieros.

El profesor Modesto Bargalló, autor de **La Minería y la metalurgia en la América española durante la época colonial**, de la que se tomó gran parte de la información aquí expuesta, escribe sobre los alumnos de Del Río:

Entre los alumnos del curso en que Del Río inició sus enseñanzas de Minerología en el Real Seminario, se hallaban: José Casimiro Chovell y Vicente Valencia, hijos de mineros, respectivamente de Taxco y Tlalpujahua; además, Manuel Cotero, Manuel Herrera y Manuel Ruiz de Tejada. Más tarde fueron también alumnos suyos, Mariano Jiménez que en 1810 trabajaba en las minas de Guanajuato y como teniente general del ejército de Hidalgo entró en Valladolid (Morelia); Rafael Dávalos, al que Del Río envió en 1805 a Morán para instalar la bomba que proyectó y mandó a construir el sabio maestro, y terminados sus estudios se colocaba en las minas de Guanajuato; en 1810 fundió allí los primeros cañones que utilizó el ejército insurgente; Ramón Fabié, otro alumno del Real Seminario, originario de Filipinas, desapareció en las luchas por la Independencia. Era también alumno del Seminario un hermano suyo.

Chovell era un minero de tanto prestigio que en 1810 estaba al frente de la administración de la mina Valenciana. Fue jefe de un regimiento insurgente. Valencia que vivía en Zacatecas se unió al ejército de Jiménez. Del Río dedicó a Chovell el mineral chovellia, silicato de aluminio y calcio, que encontró en las minas de Guanajuato. Chovell, Cotero, Valencia y Herrera se distinguieron especialmente por sus dotes investigadoras y por las disertaciones que redactaron en los cursos de prácticas del Real Seminario, de acuerdo con las Instrucciones de Elhuyar. La de Valencia versaba sobre la Geología de Zacatecas; fue examinada por Humboldt y citada en su Ensayo Político. Era Valencia un excelente metalurgista que, según Del Río, había logrado un mejor aprovechamiento del azogue mediante un beneficio cuya descripción había Valencia prometido enviarla a Del Río, precisamente el día antes de ser fusilado el 27 de junio de 1811. Además, había redactado Valencia una disertación sobre el mineral de San José del Yermo. Chovell había escrito disertaciones sobre las minas y beneficio del azogue en la Sierra de Durazno y otra de carácter geognóstico. Manuel Herrera colaboró con Del Río en la ferrería de Coacolmán; y en 1809 presentó un informe sobre los criaderos de azogue de Viazarrón en la Cañada de Culebras. Cotero redactó una disertación sobre descripción y planos de una mina; fue profesor de Química del Real Seminario; y descubrió una nueva mena en Taxco. Otro alumno distinguido fue Ruiz de Tejada, nombrado ayudante y más tarde profesor de Física del Seminario; y en 1815, ensayador primero de la Casa de Moneda de México, aún conservado el cargo de profesor del Seminario. Debe también citarse al ilustre historiador y político don Lucas Alamán que cursó clases de Minerología, de Del Río, y de Química en el Real Seminario, en los años 1812 y 1813. Fue Alamán hombre de gran cultura, docto también en minería y metalurgia; cursó estudios en Europa.

Como reflexión final sobre la minería en México en la época colonial, podemos decir lo siguiente. La minería, especialmente la de la plata, fue fomen-

tada por la corona española que percibía un quinto de la plata producida; por lo tanto, toda la organización económica del virreinato se orientó a favorecerla. Sin embargo, esas riquezas producidas en América causaron la decadencia de España, pues frenaron el desarrollo de la industria, que prosperó en cambio en otros países.

La plata procedente de México y Perú jugó un papel importante en el desarrollo del capitalismo comercial que precedió a la aparición del capitalismo industrial. Adam Smith, quien estudió estos sistemas cuando comenzaba la hegemonía del capitalismo industrial, escribió:

La plata del nuevo continente parece ser así una de las principales mercancías por medio de las cuales se lleva a cabo el comercio entre los dos extremos del viejo continente; es por medio de ella que estas partes distantes del mundo quedan conectadas unas con otras en una gran red.

Por otra parte, al contrario de lo que suele ocurrir actualmente, la tecnología de la minería y el beneficio de la plata no se importó de la metrópoli sino que se desarrolló en América, principalmente en México. Por eso los mineros de México, que se llamaban a sí mismos americanos, contribuyeron a la creación de una nueva nacionalidad, tan es así que la primera generación de alumnos egresados del Seminario de Minería luchó en la guerra de independencia.

En el patio del Palacio de Minería aparecen actualmente los nombres de Rafael Dávalos, Casimiro Chovell, Ramón Fabié, Vicente Valencia y Mariano Jiménez, egresados del Seminario de Minería y activos soldados de Miguel Hidalgo, que ofrendaron sus vidas en la lucha insurgente.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Bakewell, P.J., *Minería y sociedad en el México colonial. Zacatecas (1546-1700)*, Fondo de Cultura Económica, México, 1976.
2. Bargalló, M., *La minería y la metalurgia en la América española durante la época colonial*, Fondo de Cultura Económica, México, 1975.
3. Berthe, J.P., (ed.), *Le Mexique a la fin du XVII siecle vu par un voyageur italien: Gamelli Careri*, Calman-Levy, París, 1968.
4. Brading, D.A., *Mineros y comerciantes en el México borbónico (1763-1810)*, Fondo de Cultura Económica, México, 1975.
5. Cortés, H., *Cartas de relación de la conquista de Méjico*, Espasa-Calpe, Argentina, Buenos Aires, 1945.
6. Lang, M.F., *El monopolio estatal del mercurio en el México colonial (1550-1710)*, Fondo de Cultura Económica, México, 1977.
7. Sefi (ed.), *Reales ordenanzas para la dirección del importante cuerpo de la minería de la Nueva España*, Ed. facsimilar de la Sociedad de Exalumnos de la Facultad de Ingeniería, México, 1976.
8. Tamayo, J.L., *Breve reseña histórica sobre la Escuela Nacional de Ingenieros*, Ingeniería, México, 1939.
9. Trabulsee, E., *El origen de la tecnología mexicana: el desagüe de minas en la Nueva España*, Rev. Ciencia, junio 1980.
10. Von Humboldt, A., *Ensayo político sobre el Reino de la Nueva España*, Editorial Porrúa, México, 1966.

CAPÍTULO 14

LAS OBRAS HIDRÁULICAS EN EL VALLE DE MÉXICO EN LA ÉPOCA INDEPENDIENTE

E

l problema del control de las aguas del Valle de México se inició en la época prehispánica, continuó en la colonia, durante la etapa independiente y hasta nuestros días. En distintas épocas se ha paliado el problema mediante la construcción de importantes obras hidráulicas y civiles. En este capítulo se reseña brevemente este proceso que culmina con el drenaje profundo de la ciudad de

México, que se lleva a cabo en nuestros días.

En los años de lluvias normales las obras prehispánicas, utilizadas hábilmente, permitían tanto el control de las aguas de la cuenca y el desarrollo de una agricultura intensiva de riego basada en las chinampas, como la comunicación por agua de Tecnochtitlan con los pueblos ribereños del lago. Sin embargo, cuando había años muy lluviosos, se producían inundaciones.

En un manuscrito fechado en 1779, titulado **Relación sucinta de las inundaciones generales que han venido sobre la ciudad de México desde su fundación**, Juan Ordóñez asienta:

Temixtitán, hoy México... fue fundada el año de 1327, sobre chinampas, o camellones de tierra portátil en laguna espaciosa...

...Siete acequias que la rodean y traspasan... cuyas corrientes van a salir a la laguna de San Lázaro por otras tantas compuertas que tiene su Albarrada, trajinando por aquéllas gran número de canoas con bastimento de lugares inmediatos...

Estas inundaciones provienen, según ha enseñado la experiencia, de lluvias continuadas, siendo el enemigo más poderoso las aguas

del norte que descienden de los llanos de Pachuca y río de Cuautitlán a la laguna de Zumpango, y de ésta a la de San Cristóbal Ecatepec, en dando todas en la de San Lázaro o Tezcuco, cuyo vaso, por no ser capaz de encerrar tal conjunto de aguas, derrama el sobrante en esta ciudad, inundándola...

Ocho inundaciones generales ha padecido esta ciudad desde su fundación...

Las tres primeras acaecieron en la gentilidad por el tiempo de Moctezuma, quinto rey y primero de este nombre, de Ahuizotl, rey octavo, y el último Moctezuma emperador... hicieron varias obras, de que la principal en lo preservativo fue el albaradón (Nezahualcōyotl) que pasa por delante de los Baños del Peñón, con que se dividió la laguna de México, o San Lázaro, fabricado de madera y piedra, el cual se halla hoy arruinado...

...El Sr. D. Antonio Mendoza, primer Virrey, noticioso de dichas inundaciones, mandó declarar en los indios viejos de aquel tiempo que parecieron más a propósito el modo con que los gentiles se habían manejado en semejantes casos; y de esta información consta que nunca hallaron camino de desagüe...

La cuarta inundación fue por el año de 1553 gobernando el Sr. D. Luis Velasco, segundo Virrey... en cuyo tiempo se hizo la grande obra de la Albarrada de San Lázaro... En 1580 siendo Virrey el Sr. D. Martín Enríquez, sobrevino la quinta inundación, y de sus resultas se hicieron varias obras reducidas a fortificar albarradas, levantar calzadas y desarenar ríos. Tratóse de desagüe general por Nochistongo y Huehuetoca a salir al río de Tula...

Sucedió la sexta inundación por el año de 1604 mandando este reino el Sr. Marqués de Montesclaros, por cual se repararon albarradas, se hicieron las calzadas de San Cristóbal, Mexicalcingo y Guadalupe, se levantaron y empedraron las calles, se encarcelaron las aguas del río Sanctorum y Morales, se pusieron compuertas en partes convenientes, y se practicaron diligencias de desagüe general por el pueblo de Tequixquia...

La séptima inundación fue por el año de 1607, gobernando el Sr. D. Luis de Velasco... y como la experiencia tenía bien acreditada que todos los reparos y remedios hechos hasta aquel tiempo habían sido presentáneos, y de poco o de ningún efecto... se trató, como único remedio, de desagüe general; y a cinco que propusieron varios arquitectos, se eligió por menos difícil el de Enrico Martínez... por el sitio nombrado Nochistongo y pueblo de Huehuetoca, a salir al río de Tula... sacar las aguas de la laguna de Zumpango, río de Cuautitlan y avenidas de Pachuca...

En el año de 1629, gobernando el Excmo. Sr. Marqués de Cerralbo, padeció México la octava y última inundación, que ha sido la mayor que se ha visto... que tan grande y fuerte el golpe de las aguas que vino sobre esta ciudad, que rompiendo cuantas albarra-

das, calzadas y presas se habían hecho en su defensa arruinó muchos edificios, con perjuicio notable...

Como puede observarse por la referencia anterior, las inundaciones causadas por años excepcionalmente lluviosos se producen en forma cíclica aproximadamente cada cuarto de siglo, como lo confirman también datos posteriores. Estas inundaciones tenían como efecto, en la cuenca cerrada, restablecer el nivel elevado de los lagos, que de seguro decrecía paulatinamente durante los periodos de años menos lluviosos.

Al consumarse la independencia de México en 1821, la situación de las obras hidráulicas en el Valle de México era a grandes rasgos la siguiente.

Estaba en servicio el desagüe de las aguas de la parte norte de la cuenca, realizado inicialmente por Enrico Martínez en la primera mitad del siglo XVII y convertido totalmente en tajo abierto mediante obras posteriores. La obra del canal propuesto por Castera para realizar el desagüe general por Nochistongo, se había suspendido a causa de la guerra de independencia.

Existía una serie de canales navegables, de los cuales el más importante era el que comunicaba a Chalco con Xochimilco, La Viga y el barrio de La Merced, en el centro de la ciudad. J. R. Poinsett, historiador norteamericano que visitó la ciudad de México en 1822, lo describe así:

...Un canal corre a lo largo de este paseo y conduce a los lagos de Xochimilco y Chalco: estaba atestado de trajineras y canoas que regresaban del mercado. Subimos a una de las primeras y dos indios velozmente nos impulsaron con pértigas a lo largo del margen de las praderas bajas que bordean el canal... Regresamos por el Canal de la Viga y seguimos cruzándonos con barcos y canoas que remaban y empujaban tanto hombres como mujeres... En la mañana fuimos a vagar por la margen del Canal de la Viga, mirando las embarcaciones y canoas cargadas de legumbres y adornadas con flores, que velozmente se deslizaban luchando los indios para tratar, cada cual, de llegar primero al mercado. Nos paramos sobre un pequeño puente que cruza el canal y vimos una larga hilera de embarcaciones a ambos lados. Era un espectáculo alegre y agradable.

Cuando se inició la vida independiente de México, el Ramo del Desagüe

quedó adscrito por una parte, al gobierno regional de la antes llamada intendencia de México, que a partir de 1821 fue ejercido por su diputación provincial; y por otra parte, al gobierno general a través de la recién creada Secretaría de Relaciones Exteriores e Interiores.

Lucas Alamán, quien estaba al frente de esa secretaría en 1823 (después del derrocamiento de Iturbide), expuso la situación del desagüe en su escrito **Memoria que el Secretario de Estado y del Despacho de Relaciones Exteriores e Interiores presenta al Soberano Congreso Constituyente sobre los negocios de la Secretaría a su cargo, leída en la sesión de 8 de noviembre de 1823:**

El único canal existente es el que se conoce y se ha hecho famoso con el nombre de desagüe de Huehuetoca. Su objeto es dar curso a las aguas del río de Cuautitlán, impidiendo su entrada en la laguna de Zumpango, que crecida con ellas las vertía en la de San Cristóbal y ésta en la de Tezcuco de donde reflúan sobre esta capital. Con el fin de impedir las vertientes de unos lagos en otros, se construyeron los diques que los separan, disponiendo las compuertas necesarias para dar salida a las aguas cuando se acumulan en tal cantidad que amenazan la ruptura de estos albardones. Posteriormente se practicó un canal parcial que conduce las aguas de la laguna de Zumpango al canal general de Huehuetoca, y se empezó a realizar la grande empresa del desagüe directo por medio de un canal que partiendo del lago de Tezcuco y atravesando los de San Cristóbal y Zumpango, llevase las aguas al canal de Huehuetoca, que debía profundizarse para reducir su nivel al de la laguna de Tezcuco. La guerra de independencia impidió que se llevase adelante esta obra importante, y durante ella las ya hechas han padecido considerablemente. Las haciendas obligadas a limpiar del río de Cuautitlán por la merced de agua de que disfrutaban, no la han practicado, y el lecho del río está actualmente más alto que los campos por donde corre. Las aguas llovedizas han producido en los bordes del canal de Huehuetoca derrumbamientos tan considerablemente, que algunos lo obstruyen por el espacio de 60 varas de largo y 10 de altura, con lo que las corrientes detenidas y haciendo embate contra las paredes laterales, las van sucesivamente derrocando. El dique de Zumpango, más débil de lo que convenía, se halla corroído en toda su extensión y sus compuertas maltratadas. El canal por donde se vierten las aguas de este lago en el canal general, produce algunas veces por la destrucción de su compuerta un efecto contrario a su objeto, pues en las grandes crecientes del río de Cuautitlán, las aguas de éste se abren camino por el canal y entran

en el mencionado lago. Y, en fin, todo hace temer la inutilización de una obra que costó más de 6 millones de pesos, más de un siglo de trabajos y las vidas de tantos infelices sacrificados en ella, si no se toman con oportunidad las medidas convenientes para su reparación y conservación. Los medios de que puede disponer la Diputación Provincial de esta capital para atender a este objeto que está en sus atribuciones, son absolutamente insuficientes, y es de toda necesidad que se le proporcionen otros mayores.

Sin embargo, las primeras actividades relacionadas con las obras hidráulicas en el Valle de México, realizadas después de la independencia, estuvieron dirigidas a mejorar la navegación por los canales que unían las diferentes partes del sistema lacustre del valle.

Lorenzo de Zavala, gobernador del estado de México, impulsó la construcción de un canal entre la laguna de Texcoco y la ciudad de México, según informó al primer Congreso Constitucional en una memoria presentada el 13 de marzo de 1828:

Se procedió a la apertura del canal de comunicación entre la laguna de Texcoco y aquella ciudad — de México —, y el ejecutivo anuncia con satisfacción que en 126 días y con el corto gasto de 4 920 pesos que hasta el 15 de octubre de 1827 resultaron gastados, a reserva de la purificación de cuentas, se abrieron 3 064 varas en longitud, con 8 de latitud y 5 de profundidad, que va disminuyendo hasta la de 2 en la orilla de la laguna, quedando estacados los bordos en casi toda la longitud para impedir el desmoronamiento y enzolves consiguientes.

En 1830, la ciudad de México estuvo a punto de inundarse. Lucas Alamán, a quien el Presidente Bustamante nombró de nuevo Ministro de Relaciones, procedió a acelerar los trabajos de conservación y mejoramiento del desagüe, para lo cual nombró al coronel José Rincón director de las obras. Lucas Alamán informó de las primeras acciones:

Por lo pronto, bajo la dirección de Rincón, se trabajó durante todo el año de 1831 en obras urgentes de reparación para evitar “los peligros del momento que hubiera podido correr la capital ya que se vio expuesta en la estación de aguas del año de 1830”, consistentes “en derribar los caídos que amenazaban ruina próxima; en desenzolvar el canal de los atierres que estos mismos caídos causaban, dejando libre y expedito el curso de las aguas; en facilitar la corriente del río de Cuautitlán dándoles mayor declive; en fortificar los bordos que contienen este mismo río; en reparar

los diques de Zumpango y San Cristóbal y en reponer las compuertas que en ellos faltaban". A un costo de veinte mil pesos, Rincón puntualizó que se habían demolido 35 521 varas cúbicas de terreno y excavado 61 244, en tareas que sin remedio tenían sólo el carácter de provisionales y temporales.

Lucas Alamán, en compañía del coronel Rincón, inspeccionó las diversas obras que componían el sistema general del desagüe; así describió su recorrido:

He tenido ocasión de visitarlas y de examinar por mí mismo estos trabajos maravillosos, que exceden en mucho a todo lo que nos ha quedado en su clase de la antigüedad... Nada igual a la impresión grandiosa que produce al primer golpe de vista esta inmensa excavación a tajo abierto... La admiración se aumenta cuando se examinan las ruinas que aún existen de las obras que antes se hicieron de bóvedas, arcos y murallones, con el fin de fortificar el conducto subterráneo que se abrió para dar paso a las aguas, y que por los continuos derrumbes del terreno deleznable en que se practicó, se inutilizó en breve; y no son menos prodigiosas las construcciones exteriores de diques y albarradones para sostener artificialmente una gran masa de agua sobre el nivel de las calles de la ciudad federal. Todavía parece más grandioso este inmenso plan del desagüe, si se observa que no se limitó a variar el curso del río de Cuautitlán, sino que se concibió y ejecutó para vaciar directamente las lagunas hasta la de Texcoco, que es la más baja de todas, librando así para siempre a la capital del riesgo de inundaciones, mejorando el aire que en ella se respira y dando a la agricultura un extenso y fertilísimo terreno.

Alamán aconsejó concluir las obras del desagüe general por Nochistongo, incluso logró que el Congreso aprobara una partida de cincuenta mil pesos para *[profundizar el canal que desde el puente de Huehuetoca viene a la laguna de Zumpango]*; sin embargo, la guerra civil de 1832 y la caída del gobierno de Bustamante dejaron en suspenso este proyecto.

En las décadas siguientes, la inestabilidad política interna y los conflictos internacionales que culminaron con la invasión norteamericana de 1847, impidieron que se prestara la atención necesaria al problema del desagüe.

Después de la intervención norteamericana, el Ayuntamiento de la ciudad de México encargó al ingeniero Francisco de Garay reparar las obras hidráulicas dañadas por la guerra. El trabajo consistió principalmente en reparar las compuertas del dique de Mexicalcingo.

Además, el Ayuntamiento encargó al ingeniero norteamericano M. L. Smith un estudio sobre las obras hidráulicas del Valle de México. En la primera parte del informe de este ingeniero se establece lo siguiente:

Señor. Habiendo solicitado el Ayuntamiento de la Ciudad de México se nombrara un oficial ingeniero americano para examinar la ciudad y valle de México, a fin de ejecutar algunas obras de mejoras, y habiendo sido yo nombrado para hacer este examen, tengo el honor de presentar el siguiente informe relativo a varios puntos conducentes a este objeto. Me he decidido a proponer, en primer lugar, una mejora sobre el desagüe general de la ciudad sugiriendo medios de hacerlo del modo más fácil y a la vez más saludable. En segundo lugar, entro a examinar los lagos de Chalco, Xochimilco, Texcoco, San Cristóbal, Xaltocan y Zumpango, cuyos vasos se extienden en una cadena continua de sur a norte, para concluir si por medios artificiales se pueden desaguar estos lagos y libertar a la ciudad de México de todo peligro de inundaciones, que como aconteció otras veces, hay temor de que se repitan. En tercer lugar, me propongo indicar un sistema por el cual se evite a los ríos tributarios de estos lagos rompan sus diques o bordos e inunden los terrenos por donde pasan.

Smith propuso realizar el desagüe general por Tequixquiac, como lo había sugerido Velázquez de León a fines del siglo XVII. Sin embargo, durante bastantes años las condiciones políticas no fueron propicias para desarrollar un proyecto de tal magnitud.

En 1849, Mariano Ayllón presentó un proyecto para introducir la navegación de barcos de vapor por el canal que unía Chalco con La Viga. Una vez que el proyecto fue aprobado se inició la construcción del barco y se realizaron obras para adaptar el canal a este medio de transporte. C. J. Sierra señala en su libro **Historia de la navegación en la ciudad de México**:

Se construyó un muelle en La Viga y los trabajos fueron prosperando a pesar de constantes dificultades; fue necesario limpiar el canal proponiéndose para ello una presa en La Viga y otra en Méxicaltzingo para secar por quince días aquella vía y usar de los presidiarios para el trabajo sugerido... El gobierno del estado de México intervino autorizando al concesionario a transformar y elevar puentes en los sitios que correspondía a su jurisdicción política; con ese motivo las autoridades estatales pusieron a descubierto algunas dificultades en la navegación, así como intenciones para abrir otros canales, pero que la pobreza de recursos postergaba... Siguieron pasando los meses entre carencias y

obstáculos, pero esta vez el proyecto iba a realizarse a pesar de todo.

El 21 de julio de 1850, el vapor **Esperanza** realizó el primer viaje de prueba de La Viga a Chalco. En agosto de ese año se iniciaron los viajes regulares.

El **Diario Oficial** del 27 de junio de 1853 publicó lo siguiente:

Vapor General Santa Anna. El viernes —24— en la mañana hizo otra excursión este hermoso vapor a Mejicalcingo, conduciendo a su bordo al Excmo. Sr. Ministro de Fomento con su familia. Tardó en su paseo de ida y vuelta, con una parte de su fuerza, poco menos de dos horas. Muy pronto se asegura que estará librado al público el vapor Santa Anna para surcar el canal de la Viga a Chalco y otros varios lugares. Mucho deseamos el ver cuanto antes coronados los afanes y sacrificios del concesionario D. Mariano Ayllón, bajo los auspicios del supremo gobierno, que tan propicio se muestra para todo aquello que redunde en bien de la sociedad y adelantos de nuestra industria. El vapor tiene 25 varas de largo y 4 de ancho, y es absolutamente plano y sin quilla. El casco es de hierro y está construido con la mayor solidez. La máquina es sumamente sencilla, con potencia de veinte caballos. El salón tiene la capacidad para sesenta personas con toda comodidad.

Las obras de acondicionamiento del canal de Chalco a La Viga para la navegación de barcos de vapor, surtieron efectos contraproducentes en el control de las inundaciones. El ingeniero Luis Espinosa lo explica en su obra **Reseña histórica y técnica de las obras del desagüe del valle de México. 1856-1900:**

Sustancialmente el proyecto consistía en reponer la compuerta de Mexicaltzinco para moderar a arbitrio el paso del agua por el canal, y aún interceptarlo, a fin de evitar que las crecientes del río de Churubusco bajasen sobre México. Como esto perjudicaba a los pueblos y propietarios de las orillas del lago de Xochimilco, pues el uso de la compuerta hacía retroceder el agua hacia éste, el proyecto que previó este perjuicio comprendía la apertura de un nuevo canal de 10 metros de ancho por el llano de San Lorenzo, para cortar el portezuelo formado por los cerros de Iztapalapan y San Lorenzo, y comunicar el lago de Xochimilco con la laguna de Santa Marta, la cual vacía en el lago de Texcoco, al oriente del Peñón del Marqués. El ingeniero Garay procedió a ejecutar sus obras y comenzó por cortar las aguas que bajaban

del sur, ocasionando el conflicto en que se hallaba la capital. Al efecto, cerró la cortadura del dique de Mexicaltzinco, hecha por la Compañía de Navegación por Vapor; otro tanto hizo en las calzadas de Culhuacán y de Tláhuac, respecto de las brechas abiertas por la misma Compañía; al mismo tiempo elevó la calzada de Tláhuac 80 centímetros, porque estaba entonces cubierta casi en su totalidad por el agua de los lagos, e inútil para poder servir de dique.

El canal mencionado se realizó rápidamente y recibió el nombre de Canal de Garay.

El amago de inundación del año de 1856, que fue particularmente lluvioso, revivió el interés por las obras del desagüe general. Se nombró una comisión, presidida por Mariano Riva Palacio, que lanzó una convocatoria a especialistas nacionales y extranjeros para presentar un proyecto integral de obras hidráulicas de la cuenca del Valle de México. El proyecto debía tener por objeto:

...Regular el gobierno de las aguas del valle de tal manera que la capital y las poblaciones vecinas queden para siempre libres del riesgo de inundación; modernizar el sistema de atarjeas para el drenaje de la metrópoli; trazar y abrir el mayor número de canales factibles a la navegación; y aprovechar en riegos agrícolas el mayor caudal de las aguas disponibles de la cuenca.

El proyecto más completo y mejor calificado fue el del ingeniero Francisco de Garay, autoridad ya probada en la materia, por lo que se le otorgó el primer (y único) premio. Espinosa describe el proyecto así:

El Ingeniero Garay, siguiendo ya el rumbo que Simón Méndez había indicado y que después habían estudiado sucesivamente Velázquez de León y Smith, llevó la línea de su proyecto de modo que terminara en Tequixquiac, abandonando por completo el rumbo de Nochistongo. Esta línea principal consistía en un canal a cielo abierto de 50 380 metros de longitud, un túnel de 8 970 metros, y otro canal terminal de 1 480 metros. Además, el proyecto comprendía tres sistemas de canales secundarios, a saber: un canal del Sur, de una longitud de 21 kilómetros, que debía conducir las aguas de Chalco y Xochimilco para introducir las en las atarjeas de la ciudad de México; un canal de Occidente, de 72 kilómetros de longitud, con túnel de 650 metros y esclusa, con el fin de comunicar el lago de Xochimilco con el Tajo de Nochistongo; un canal de Oriente, con longitud de 86 kilómetros, con

túnel de 4 305 metros y esclusa, para comunicar el lago de Chalco con el de Zumpango. Las condiciones hidráulicas del canal principal fueron calculadas para un gasto máximo de 33 metros cúbicos, con una pendiente de 124 milímetros por kilómetro, y una sección útil, consistiendo en un trapecio de 10 metros en el fondo con taludes de 45 grados, en el cual la altura del agua podía llegar a un poco más de 3 metros: la velocidad se calculó en 85 centímetros.

El presidente Comonfort aprobó el plan, pero no se llevó a cabo; primero, por la crisis política que condujo a la guerra de Reforma y después, por la intervención extranjera.

Las inundaciones que ocurrieron en el muy lluvioso año de 1865, obligaron a Maximiliano, quien ocupaba entonces la ciudad de México, a designar a Garay como Director General del Desagüe del Valle de México. Después de varias semanas de intensa actividad, se consiguieron los recursos suficientes para el salvamento de la capital y pueblos cercanos.

En 1866, el Ministerio de Fomento del gobierno imperial autorizó la iniciación de las obras del desagüe general por Tequixquiac, de acuerdo con el proyecto de Garay. El ingeniero Espinoza señala en su obra citada:

Deseoso el archiduque Maximiliano de llevar a cabo la ejecución del desagüe con rapidez, a la vez que ordenó que se emprendieran los trabajos, dispuso también que el ingeniero Miguel Iglesias pasase a Europa a comprar la maquinaria necesaria, la que consistía: en un excavador para obrar en los tajos; unas locomóviles para desagües y extracción en las lumbreras; una máquina fija especialmente para desagüe, y unas dragas para el desazolve o excavación de los lagos y canales. Los trabajos materiales se comenzaron en la primera semana de julio de 1866...

La obra comprendía tres ataques simultáneos. 1º "un tajo abierto de 39 y medio kilómetros... que comenzaría en el lago de Texcoco, entre la gran cruz de madera y el canal que baja de la ciudad de ese nombre y terminaría en el extremo noreste del lago de Zumpango para unirse con el túnel". 2o. la sección más difícil, el túnel, de casi diez kilómetros, que arrancaría del bordo norte de la laguna de Zumpango y siguiendo una dirección al noroeste terminaría en la barranca de Acatlán, también llamada de Tequizquiac. "En este trayecto se trazaron 24 lumbreras a intervalos de 400 metros aproximadamente, con objeto de tener 49 frentes por las que a la vez pudiera atacarse la excavación y mamposterías del túnel". Y 3o. a la salida de éste, "se proyectó

el tajo de desembocadero, llamado también de Tequixquiac", sobre el cauce de la misma barranca de Acatlán, cuyo declive era muy apropiado al efecto. "Esta barranca, siguiendo adelante, descarga sus aguas en el río de Tequixquiac que, a continuación, se reúne en el de Tula, el que más adelante concurre a formar el río Moctezuma, y por último el Pánuco hasta desembocar en el golfo de México."

La derrota de las fuerzas intervencionistas, que terminó con el fusilamiento de Maximiliano en Querétaro, interrumpió las obras cuando se habían excavado 689 metros de lumbreras y se había gastado únicamente cien mil pesos.

En 1867, el general Porfirio Díaz al mando del Ejército de Oriente ocupó el norte de la ciudad de México. Díaz fue temporalmente la máxima autoridad de la capital, por lo cual los directores del desagüe se dirigieron a él en busca de protección para las obras; el general accedió:

Pocas glorias podría desear en mi transitoria posición como la de dar impulso a esos trabajos... Por tal motivo... he dispuesto que la Jefatura de Hacienda del Distrito Federal, les ministre la suma de mil quinientos pesos mensuales para conservación de las obras del Desagüe, mientras el Supremo Gobierno determina que se prosigan y lleven a cabo con el debido empeño.

Durante la época de la República restaurada se estableció un impuesto especial para el financiamiento de las obras del desagüe. En ese tiempo el Presidente Juárez, a propuesta del Secretario de Fomento Blas Balcárcel, nombró al ingeniero Jesús P. Manzano Director General del Desagüe del Valle de México.

Al cabo de un año de haberse suspendido los trabajos del desagüe general, en abril de 1868 se reanudaron con la maquinaria europea que adquirió el gobierno de Maximiliano. La perforación del túnel se inició el 11 de junio de 1869, en esa época las obras ocupaban más de mil trabajadores y significaban un gasto mensual de cerca de treinta mil pesos, que posteriormente se redujo a doce mil. Al tomar posesión el sucesor de Juárez, Sebastián Lerdo de Tejada, se trabajaba en ocho lumbreras; se habían comenzado cuatro y se había iniciado también el túnel a ambos lados de la lumbrera 24.

Además en ese tiempo se realizaron algunas obras para facilitar la navegación en el canal de Chalco a La Viga. Aurelio Almazán, autor del **Tratado sobre caminos comunes, ferrocarriles y canales**, escribió en 1867:

El canal de México a Chalco, tan interesante para el comercio entre estas poblaciones y con especialidad para el de una gran parte de la tierra caliente, se encuentra en lo general bien para el sistema de navegación que ahora se sigue y sólo se tropieza actualmente con la dificultad del cruzamiento del dique de "Más arriba". El canal parte de la orilla de la población de Chalco, cruza el lago de este nombre, pasando por el pueblo de Xico, después atraviesa el dique de Tláhuac, que divide los lagos de Chalco y Xochimilco, por el pueblo de Tláhuac, en la población, continúa por el lago de Xochimilco hasta su término en Tomatlán, en donde está construido el dique de "Más arriba", después sigue por lo que se llama acequia real, pasando por los pueblos de Culhuacán y Mexicalcingo, y a las orillas de San Juanico, Ixtacalco y Santa Anita, entrando a la ciudad por la garita de la Vega.

Según relata Sierra en su obra **Historia de la navegación en la ciudad de México**:

En 1869 una compañía de navegación inauguró el vapor "Guatimoc" para servicio entre la metrópoli y las poblaciones a orillas de los lagos; hizo seis viajes de prueba y luego invitó al Presidente Juárez, Secretarios de Estado y otros funcionarios; acudieron acompañando al Primer Magistrado los señores Iglesias, Mejía, Balcárcel, Luis Muñoz Ledo, Saavedra, Zárate, Romero e Inda, quienes se colocaron unos en la popa y otros en la proa; en ese momento explotó la caldera con terrible estrépito sin que haya causado ninguna víctima; Ignacio Altamirano al hacer la crónica del suceso —que por otra parte, suspendía una vez más otro proyecto de navegación—, señaló la buena suerte del señor Juárez: "En el hecho acontecido llama la atención la buena fortuna que acompaña al ciudadano Presidente de la República quien sale siempre ileso de todos los peligros".

Se tienen noticias también del vapor **Nezahualcóyotl**, que hacia 1872 recorría la laguna de Texcoco.

Durante el gobierno del presidente Lerdo de Tejada (1872-1876), únicamente se realizaron trabajos de mantenimiento en las obras del desagüe. En 1875, una temporada de lluvias muy intensa causó inundaciones en la capital, lo que desató las críticas contra el gobierno por su inactividad.

En 1876 se produjo la revuelta de Tuxtepec que llevó al poder al general Porfirio Díaz. En esas fechas el problema del desagüe general del Valle de México se había complicado con el de la descarga del sistema de atarjeas de la

ciudad. El informe de la Junta Directiva del Desagüe y Limpia de la Ciudad, publicado en 1877, expuso:

La evidencia de que no había caída apreciable que aprovechar para dar curso, en condiciones tolerables, a los derrames del interior de la ciudad al lago de Texcoco, que era su único receptor posible.

En la situación de los colectores se deja ver que los que concibieron el proyecto preveían que la obra del desagüe del Valle se haría alguna vez y que entonces quedaban en posibilidad de descargar directamente los desechos de la ciudad en el canal del desagüe.

En 1879, el ingeniero Luis Espinosa fue nombrado director interino de las obras del desagüe, en ausencia del ingeniero Francisco de Garay, quien viajó a Europa en una comisión del gobierno. El 18 de septiembre, Espinosa presentó a la Secretaría de Fomento una propuesta para continuar las obras del desagüe por Tequixquiac; el propio Espinosa la describe:

Constaba de un canal abierto de 50 kilómetros, y a continuación un túnel de 9 kilómetros y 520 metros. El origen del canal estaba en la ciudad de México, pasaba por los lagos de Texcoco, San Cristóbal y Zumpango, e inmediatamente después de éste se encontraba la conexión con el túnel. El canal tenía una caída de 9.25 metros, y siendo su desarrollo de 50 kilómetros, la pendiente era de 185 milímetros por kilómetro. La profundidad en el origen era 3 metros, y al fin 22 metros. La sección transversal limitada por el fondo del tajo, de 8.60 metros de ancho y sus taludes con inclinación de uno por uno...

Durante el gobierno del general Manuel González, las obras del desagüe fueron asignadas por contrato a una empresa privada, la cual fracasó. Desde 1892 hasta su terminación en 1900, el gobierno volvió a ejecutar los trabajos, bajo la dirección del ingeniero Espinosa.

En 1885 el Ayuntamiento de la ciudad de México autorizó la erogación anual de 400 mil pesos para las obras del desagüe. En 1889 la obra se dio por contrato a una compañía extranjera, la **Mexican Prospecting and Finance Co. Ltd**, que importó maquinaria de construcción de Europa y contrató operarios ingleses; pero fracasó a causa de las dificultades que presentaron las filtraciones de agua en las obras del túnel, por lo que se retiró en 1892.

La fase final de las obras quedó de nuevo a cargo de la Junta Directiva del Desagüe del Valle de México, bajo la dirección del ingeniero Espinosa, quien aceleró los trabajos considerablemente. R. Esparza comentó al respecto en su **Reseña administrativa y económica de la Junta Directiva del Desagüe del Valle de México, 1886-1900:**

Una de las disposiciones que coadyuvó, sin duda, al buen éxito de los esfuerzos de la Junta, fue la de haber interesado por medio de primas, cuya importancia aumentaba en proporción del trabajo que se hacía a los destajeros, mexicanos en su mayor parte, procedentes de las regiones mineras de los estados de Guanajuato e Hidalgo, con quienes se contrató la obra por tramos; estimulándose por el mismo procedimiento al personal encargado del servicio de las bombas.

El tajo de Tequiquiac se excavó en su mayor parte entre 1868 y 1870. El canal de 10 km se concluyó de perforar en agosto de 1894 y se revistió a fines de ese año. Cuando se terminaron estas estructuras, se activó la obra del canal de 47.5 km, que el ingeniero Espinosa describió así:

El canal quedó definitivamente definido con los siguientes niveles, referidos al plano de comparación de la línea inferior del Calendario Azteca, cuando estuvo situado en la torre occidental de la catedral. En la garita de San Lázaro, punto de origen del Canal, tiene el fondo la acotación de 2.25 m y una profundidad de 5.75 m. Sigue el Canal por la margen occidental del lago de Texcoco y al llegar al fin del kilómetro 20 se dirige al noroeste, atravesando el lago de San Cristóbal y parte del de Xaltopan; en el kilómetro 43.5, al sur de la población de Zumpango, cambia de dirección hacia el norte, para llegar al principio del Túnel en el kilómetro 47.527, en donde la acotación del fondo del canal es de 6.632, con una profundidad de 21.38 m. La pendiente del fondo es uniforme e igual a 0.000187, y los taludes en lo general de la excavación de 45°. Respecto al ancho del fondo del Canal, se distinguen dos tramos: uno de 20 kilómetros de longitud, en que dicho ancho es de 5 metros, y que se considera como emisario del sistema de atarjeas de la ciudad de México; el otro se extiende desde el kilómetro 20 hasta su término, en el que el ancho del fondo es de 6.5 metros, y que constituye propiamente el Canal para el Desagüe del Valle, con motivo de que allí concurren las aguas del tramo anterior, de la capital y las que proceden directamente del lago de Texcoco.

En 1890, la obra del canal se dio por contrato a la empresa inglesa **S. Pearson and Son**, que adquirió cinco dragas y otra maquinaria en Ingle-

terra. Las dificultades que presentaba la excavación de la sección del canal próxima a la ciudad de México, causaron que esta empresa renunciara a ejecutar ese tramo, el cual quedó a cargo de la Junta Directiva del Desagüe.

El 17 de marzo de 1900 se inauguraron las obras. E. Lemoine lo relata así en su obra. **El desagüe del Valle de México durante la época independiente:**

Ese día, a las nueve de la mañana, el presidente Díaz, acompañado de los miembros de su gabinete, cuerpo diplomático, autoridades del Ayuntamiento, representantes de los poderes Legislativo y Judicial, Junta Directiva del Desagüe y técnicos del mismo "y de otras muchas distinguidas personas", dio la orden de "levantar las compuertas de San Lázaro que dan salida a los residuos y aguas de la Ciudad, por el Gran canal que comienza en el barrio del mismo nombre de esta capital, y por el túnel de Tequixiac que es la continuación de dicho Canal; siendo este acto de inauguración el que solemniza la feliz conclusión de las obras destinadas a gobernar las aguas del Valle de México, que desde los tiempos más antiguos han sido la causa de molestas y peligrosas inundaciones".

En el último cuarto del siglo XIX se realizaron también varias obras para facilitar la navegación. Según C.J. Sierra, en la **Historia de la navegación en la ciudad de México:**

El 14 de septiembre de 1878 el ingeniero Francisco de Garay informó al Ministerio de Fomento que quedaba abierto el tramo del canal de Chalco a San Isidro con una longitud de 9 000 metros; por esa vía se acortaba en dos leguas la distancia entre la metrópoli y Chalco y quedaban en comunicación directa con la ciudad los pueblos de Ayotla, Tlapicahua, Tlapacoya y otros.

El 15 de septiembre de 1878 se inauguró el canal de México al Peñón Viejo surcándolo por primera vez un vaporcito de hélice, de cinco caballos de fuerza llamado "General Porfirio Díaz" y el bote "Josefina", aquél venido de Nueva York y el segundo construido en un pequeño astillero de San Lázaro, con maderas de la costa, por el carpintero de ribera Vicente Sedano.

Todavía en marzo de 1890 una empresa hizo circular invitaciones para un banquete ofrecido al Presidente de la República y Secretarios de Estado con motivo de la "Inauguración de vapores entre México y Chalco".

Sin embargo, la paulatina desecación de los lagos del Valle de México, a causa del desagüe, dificultó cada vez más la navegación hasta reducirla a su último vestigio, las actuales trajineras de Xochimilco que están a punto de desaparecer.

Ya a mediados del Siglo XIX, señalaba la marquesa Calderón de la Barca.

De 1607 a 1830, se habían gastado ocho millones de pesos y la gran obra no llegaba aún a su fin. Sin embargo, los límites de los dos lagos, el de Zumpango y el de San Cristóbal, al norte del Valle, se habían reducido, y el lago de Texcoco, el más hermoso de los cinco, dejó de recibir sus derrames. De este modo ha disminuido el peligro de las inundaciones; pero también han disminuido el agua y la vegetación y los suburbios de la ciudad, cubiertos una vez por el verdor de sus jardines, no presentan en el día, sino una costra de sales eflorescentes. Especialmente los llanos de San Lázaro, que con su estéril blancura parecen el adecuado marco a las infortunadas víctimas de la lepra, encerradas detrás de las paredes de ese hospital.

El 15 de mayo de 1899 apareció la siguiente nota en el diario **El siglo diez y nueve**:

Hace algún tiempo se quejaba un colega del lamentable estado en que se encuentra el canal de la Merced y todo el rumbo del embarcadero hasta cerca de la Viga. La escasa corriente que tiene aquel fango —porque aquello no es agua— se obstruye aún más con los numerosos desechos de las curtidurías que existen por aquel rumbo.

Como lo señala el historiador González Navarro, el Gran Canal del Desagüe no eliminó totalmente las inundaciones:

Desde luego hay un hecho evidente: no acabaron las inundaciones, aún cuando sí disminuyeron en frecuencia y gravedad. La inundación de julio de 1900 (o sea, cuatro meses después de la inauguración del Gran Canal) llevó el agua hasta las plataformas de los tranvías; a fines de ese año y en 1901 hubo nuevas inundaciones en Santa Ana, la Candelaria, Santiago, San Lázaro, Los Angeles, La Tlaxpana, Niño Perdido, en general en la parte suroeste de la ciudad. La prensa oficiosa informaba con satisfacción en julio de 1908 que después de reforzarse los cauces de los ríos cesarían las inundaciones. Fuertes aguaceros inundaron una vez más en julio de 1910 Bucareli, Belem, la sexta demarcación, Pealvillo y La Merced, haciéndose necesaria la intervención de los

bomberos. En septiembre de ese año, en el apogeo de las fiestas del Centenario, se inundaron los pueblos de Mixcoac y La Piedad, principalmente este último.

Con el progresivo hundimiento de la ciudad de México, a causa de la extracción de agua del subsuelo, el problema se agravó. El Gran Canal del Desagüe quedó a un nivel más alto que las descargas de los colectores del drenaje de la ciudad, por lo que fue necesario establecer estaciones de bombeo para elevar las aguas negras al canal.

A pesar de estas limitaciones, el Gran Canal del Desagüe, inaugurado en 1900, ha servido razonablemente bien a la ciudad hasta la fecha. Durante 75 años fue capaz de desalojar todas las aguas del drenaje de la ciudad, a pesar del enorme crecimiento de ésta. En 1975 se puso en servicio la primera parte del drenaje profundo, obra que se continúa actualmente y que se considera constituirá la solución definitiva al problema del desagüe de la ciudad de México.

En la *lamina 12* se muestra la situación de los lagos y canales del Valle de México a principios del siglo XIX y en la *lámina 13*, la localización de las antiguas y nuevas obras del desagüe a fines del mismo siglo.

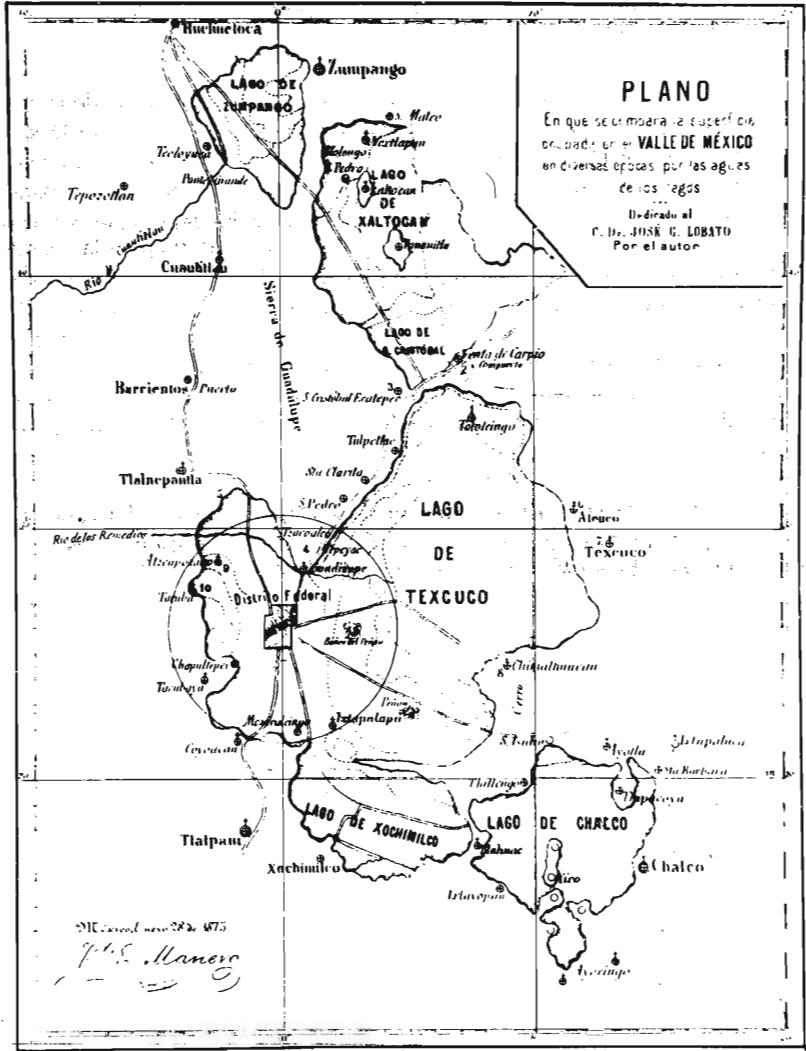


LÁMINA 12. MAPA DE LOS LAGOS DEL VALLE DE MÉXICO A PRINCIPIOS DEL SIGLO XIX.

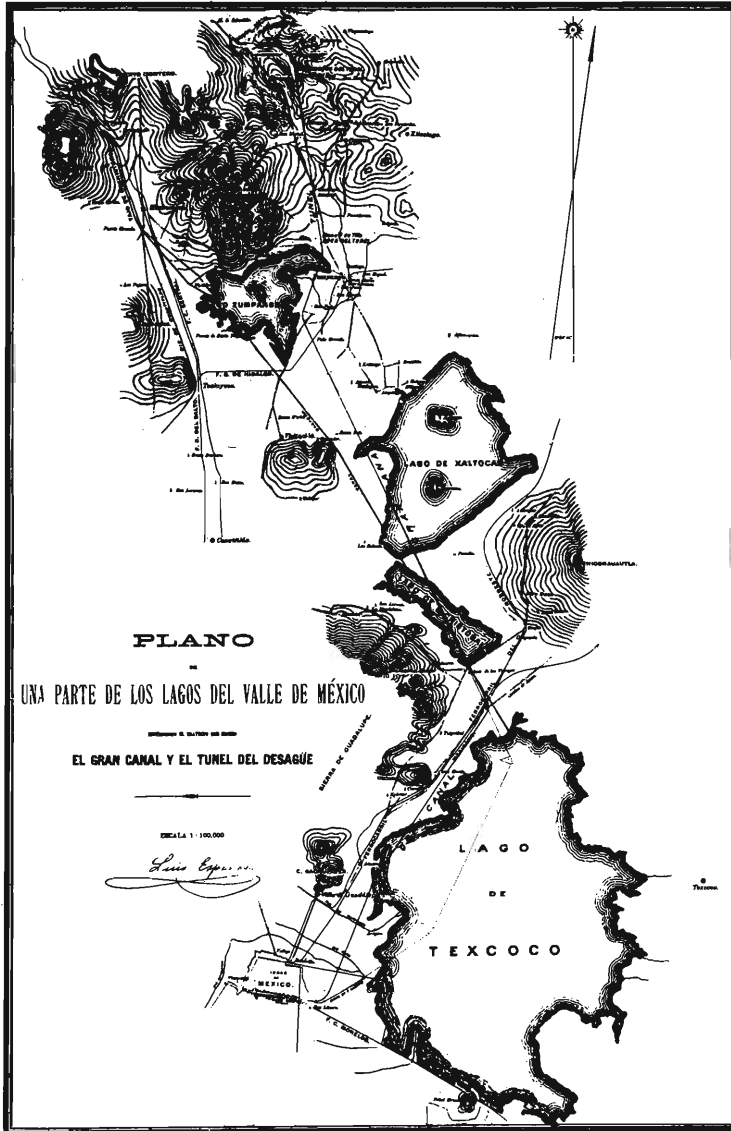


LÁMINA 13. OBRAS DEL DESAGÜE DEL VALLE DE MÉXICO A FINES DEL SIGLO XIX.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Almazán, A., *Tratados sobre caminos comunes, ferrocarriles y canales*, Imprenta Literaria, México, 1865.
2. Espinoza, L., *Reseña histórica y técnica de las obras del desagüe del Valle de México, 1856-1900*. Incluida en la *Memoria histórica, técnica y administrativa de las Obras de Desagüe del Valle de México. 1449-1900*, publicado por orden de la junta directiva del mismo desagüe, México, 1902.
3. Lemoine, E., *El desagüe del Valle de México durante la época independiente*, UNAM, México, 1978.
4. Sierra, C.J., *Historia de la navegación en la ciudad de México*, Departamento del Distrito Federal, México, 1973.

CAPÍTULO 15

LOS FERROCARRILES EN MÉXICO DURANTE EL PORFIRIATO

LOS CAMINOS EN MÉXICO A PRINCIPIOS DEL SIGLO XIX

E

l destacado estadista liberal José María Luis Mora realizó un estudio sobre los caminos abiertos en México durante la época colonial, y el estado que guardaban al consumarse la independencia. A continuación se transcribe un fragmento de dicho estudio.

Los caminos de México corren por la misma llanura o Mesa Central, desde Oaxaca a Santa Fe, ó van desde esta llanura hacia las costas. Los primeros mantienen la comunicación entre las ciudades colocadas sobre la loma de las montañas, en la región más fría y poblada del reino; los segundos están destinados al extranjero, a las relaciones que subsisten entre el interior y los puertos de Veracruz y Acapulco, y además facilitan el cambio de los productos entre la Mesa Central y los llanos ardientes de la costa. Los caminos de la Mesa que van del SSE, al NNO, y que, atendida la configuración del país, se les podría llamar longitudes, son de muy fácil conservación. Desde México a Santa Fe pueden andar carruajes en un espacio que sería más largo que la cordillera de los Alpes, si ésta se prolongara sin interrupción desde Ginebra hasta las costas del Mar Negro. En efecto, sobre la llanura central se viaja en coches de cuatro ruedas, en todas direcciones, desde la capital a Guanajuato, Durango, Chihuahua, Valladolid, Guadalajara y Perote; pero a causa del mal estado actual de los caminos, no se ha establecido carreteo para el transporte de los géneros, y se prefiere el uso de acémilas, de modo que millares de caballos y mulos en largas recuas cubren los caminos de México. Un número considerable de mestizos y de indios se emplean en conducir caravanas; prefiriendo esta vida vagabunda a cualquier otra ocupación sedentaria, pasan la noche al raso, o en tambos o casas de comunidad, que están construidas en medio de los pueblos para la comodidad de los viajeros; las caballerías pacen libremente en las sabanas, pero cuando las grandes sequías hacen desaparecer las gramíneas, se les da maíz en hierba (zacate) o en grano.

Los caminos que desde la Mesa interior van a las costas, y que yo llamo transversales, son los más penosos, y merecen principalmente la atención del Gobierno. De esta clase son los de México a Veracruz y Acapulco, de Zacatecas al Nuevo Santander, de Guadalajara a San Blas, de Valladolid al puerto de Colima, y de Durango a Mazatlán, pasando por el brazo occidental de la Sierra Madre. Los caminos que van de la capital a los puertos de Veracruz y Acapulco, son consiguientemente los más frecuentados. Los metales preciosos, los productos de la agricultura y los géneros de Europa y Asia, que anualmente se cruzan por estos dos conductos, son de un valor total de 64 millones de pesos fuertes. Estos tesoros pasan por un camino que se parece al que conduce desde Airolo al Hospicio de San Gotardo. Desde el pueblo de Las Vigas hasta el Encero, el camino de Veracruz no es muchas veces sino una senda angosta y tortuosa, y apenas se encontrará otro tan penoso en toda la América, si exceptuamos el que siguen los géneros de Europa para ir desde Honda a Santa Fe de Bogotá y de Guayaquil a Quito.

Los productos de Filipinas y del Perú llegan a México por el camino de Acapulco, el cual va por una falda de las cordilleras de pendiente menos rápida que el que hay desde la capital al puerto de Veracruz. Una ligera mirada que se dé a los cortes que contiene el Atlas mexicano, bastará para probar la exactitud de este aserto. En el camino de Europa (como ya lo hemos observado), desde el Valle de México hasta más allá de Perote, en la llanura central se está a 2 300 metros de elevación sobre el Océano; desde este último pueblo, se baja con una extrema rapidez hasta la quebrada del Plan del Río, al O. de La Rinconada. En el camino de Acapulco, que llamamos camino de Asia, sucede lo contrario; la bajada empieza ya a ocho leguas de México, en la falda meridional de la montaña de basalto del Guarda. A excepción del trozo que pasa por el bosque de Guichilaque, no sería difícil abrir un carril en este camino, y aun sin mucho trabajo, porque desde Acapulco hasta la llanura de Chilpancingo es ancho y está bastante bien cuidado; pero avanzando hacia la capital, especialmente desde Cuernavaca hasta Guichilaque, y de ahí hasta la cima de la alta montaña, llamada La Cruz del Marqués, ya es angosto y muy malo. Las dificultades que más entorpecen las comunicaciones entre la capital y el puerto de Acapulco, nacen de las rápidas avenidas de dos ríos, el Papagalloy y el río de Mescal. Estos torrentes, que en tiempo de sequedad no tienen 60 metros de ancho, en tiempo de lluvias tienen 250 y hasta 300. En la época de las grandes avenidas, muchas veces están las cargas paradas durante 7 u 8 días en las orillas del Papagalloy, sin que los arrieros se atrevan a tantear el vado. Yo he visto todavía muchos trozos de pilares, construídos con enormes piedras de sillería, que la corriente se había llevado antes que los arcos estuviesen concluídos. En 1803 se proyectó hacer un nuevo ensayo para construir un gran puente de piedra sobre el río Papagalloy, y el gobierno había destinado cerca de 100 000 pesos para esta empresa, de gran-

de importancia para el comercio de México con las islas Filipinas. El río de Mescala, que más al oeste toma el nombre de río de Zacatula, es casi tan peligroso como el Papagallo; yo lo he pasado sobre una jangada o balsa, hecha según el antiguo uso mexicano, con calabazas silvestres secas y cañas, atadas encima; dos indios dirigen la jangada, sosteniéndola con una mano y nadando con la otra.

La autoridad encargada de estos caminos fue el Consulado de México, en un principio solo, y después en unión del que en Veracruz se estableció y las rentas a ellos consagradas consistían en el derecho de avería, que se cobraba a las mercancías de importación, y en el producto de peajes, impuesto que, conforme a tarifas especiales, satisfacían los que usaban de los caminos. Esto en cuanto a los principales; los secundarios, a juzgar por la recomendación que contiene el artículo 64 de la Ordenanza de Intendentes, y por lo que hemos visto practicar todavía en nuestros días, estaban confiados a las autoridades locales, que con deplorable frecuencia los desatendían por falta de recursos, viéndose los particulares que tenían necesidad de usarlos, en la precisión de repararlos a sus expensas.

EL FERROCARRIL MEXICANO.

Como se mencionó en el capítulo 5, la primera locomotora de vapor fue construida en 1800 por el inglés Richard Trevithick, pero el desarrollo comercial de la locomotora de vapor se debe principalmente a Stephenson, otro inglés, nacido en 1781. La inauguración, el 15 de septiembre de 1830, de la línea ferroviaria entre Liverpool y Manchester, en Inglaterra, puede considerarse como el inicio de la época moderna de los ferrocarriles.

La primera concesión de ferrocarriles otorgada en México por el gobierno federal se dio en 1837 a un rico comerciante de Veracruz, Francisco Arrillaga. A cambio de un monopolio de 30 años sobre la ruta de Veracruz a la ciudad de México, el comerciante se comprometió a conducir el correo en forma gratuita y a pagar 50 mil pesos anuales al gobierno federal, después de los primeros diez años de funcionamiento de la línea. Sin embargo, como tres años después no se había tendido un solo kilómetro de vía, la concesión quedó sin efecto.

De 1849 a 1850, el gobierno federal construyó 13 km de vía de Veracruz a Tejería; de 1854 a 1857 se aumentó su longitud a 25 km; en 1857 el presidente Comonfort inauguró el tramo entre México y la Villa de Guadalupe. Ese mismo año se otorgó a Manuel Escandón una nueva concesión para construir lo que sería el **Ferrocarril Mexicano**, de México a Veracruz.

En la nueva concesión, el Estado subsidiaba la construcción con 8 millones de pesos, que después debería devolver el concesionario. La guerra de Reforma interrumpió los trabajos. Al triunfo de los liberales el presidente Juárez revalidó la concesión a los hermanos Manuel y Antonio Escandón, en abril de 1861. Ocho meses después se inició la invasión francesa. Bajo el régimen de Maximiliano, los hermanos Escandón traspasaron la concesión y la propiedad de la vía construida a la **Compañía Limitada del Ferrocarril Imperial Mexicano**, que era una empresa de ingleses. A la caída del imperio estaban en servicio los tramos de Veracruz a Paso del Macho, de 76 km de longitud y de México a Apizaco, de 139 km.

Cuando se restauró la República, el presidente Juárez dispuso que:

Atendiendo al beneficio público que resulta de la conclusión del camino de fierro que debe enlazar el puerto de Veracruz con la capital de la República, se indulta a la Compañía poseedora del privilegio concedido en los decretos de 31 de agosto de 1857 y 5 de abril de 1861, de la pena de caducidad en que incurrió por haber celebrado el convenio de 25 de enero de 1865, con el llamado gobierno que pretendió establecer la intervención francesa.

El 31 de diciembre de 1872 se inauguró por fin la línea de México a Veracruz. Los pasajeros del primer viaje fueron el entonces presidente Sebastián Lerdo de Tejada, Antonio Escandón y otros invitados especiales.

El **Ferrocarril Mexicano**, como se llamaba la línea, costó 12 veces más que los 5 millones de pesos calculados por el primer concesionario y más de la mitad del costo de la construcción de la línea fue cubierto por los subsidios que el gobierno federal pagó a la **Compañía Limitada del Ferrocarril Mexicano**, nombre que adoptaron los concesionarios ingleses cuando se restauró la República. En la *lámina 14* se muestra la ruta del **Ferrocarril Mexicano** y las etapas de su construcción.

DESARROLLO DE LOS FERROCARRILES DURANTE EL PORFIRIATO

Sobre el desarrollo de los ferrocarriles durante el porfiriato, se reproduce a continuación una sección del capítulo 11 de la obra **El impacto económico de los ferrocarriles en el porfiriato**, de J.H. Coatsworth.

Cuando Díaz subió al poder en 1876, México no contaba más que con 640 kilómetros de vías ferroviarias, de los cuales 424 pertenecían al Ferrocarril Mexicano y otros 114 utilizaban mulas como fuerza motriz en lugar de máquinas de vapor.



LÁMINA 14. EL FERROCARRIL MEXICANO. ETAPAS DE SU CONSTRUCCIÓN

Los gobiernos de la República Restaurada no habían sido capaces de seducir a los inversionistas extranjeros con las concesiones que el Congreso estaba dispuesto a aprobar, y no habían logrado atraer en cantidades sustanciales el capital nacional para la construcción de ferrocarriles. Durante sus primeros tres años, el régimen porfirista no tuvo mayor éxito que el de sus predecesores. Sin capital extranjero, el progreso de los ferrocarriles era lento. El gobierno adoptó dos métodos para promover la construcción durante esta época. Primero, se invirtieron directamente los fondos en la construcción de una línea corta entre Tehuacán y La Esperanza, esta última cercana a una estación del Ferrocarril Mexicano. Con cincuenta y un kilómetros de longitud y utilizando mulas para tirar de trenes pequeños, la línea tuvo un costo menor de \$6 000.00 por kilómetro, menos que el costo de construir una nueva carretera entre las dos ciudades, y aún menos que el subsidio habitual del gobierno a empresarios privados para la construcción de vías para ferrocarriles de vapor.

Más importante aún, el gobierno adoptó la política de otorgar concesiones ferroviarias a los gobiernos estatales. Entre 1876 y 1880 veinte de los gobiernos estatales recibieron un total de veintiocho concesiones para ferrocarriles. Generalmente los gobernadores solicitaban las concesiones como un primer paso a interesar a los capitalistas locales en tales proyectos. Tan pronto como se comprometía el capital suficiente, se formaba una compañía local que emprendiera la construcción, y luego se transfería la concesión respectiva. Durante los cuatro años, en los que se probó este sistema, ocho de las 28 concesiones demostraron ser efectivas. Las compañías locales construyeron un total de 226 kilómetros de vía antes de que el capital norteamericano llegara a construir las dos arterias principales del país. Las compañías locales habían demostrado que los capitalistas mexicanos, con la suficiente voluntad para emprender pequeños proyectos, no querían arriesgar sus fortunas en empresas importantes. Sin embargo, algunas de estas líneas locales se habían desarrollado con rapidez. La línea de la ciudad de México a Cuautla sumaba 96 de los 22 kilómetros construidos por empresas estatales hasta 1880, y un tramo aislado de 60 kilómetros entre Celaya y León se había construido a pesar del costo del transporte de materiales por carretera y mula desde la ciudad de México. Dos de las compañías utilizaron un método ingenioso para atraer los pequeños ahorros de una sociedad que carecía casi totalmente de instituciones financieras. Las compañías del Ferrocarril México-Toluca-Cuautitlán y del Ferrocarril de Mérida a Progreso establecieron loterías ferroviarias, vendiendo billetes de lotería baratos y destinando para la construcción el excedente de los ingresos sobre el monto de los premios pagados. Casi todas las compañías locales suspendieron sus actividades poco tiempo después de las concesiones principales de 1880. Varias líneas, incluyendo la de México-Toluca-Cuautitlán, y la de Celaya-León, simplemente fueron absorbidas por una de las nuevas empresas norteamericanas.

De hecho, el auge de los ferrocarriles mexicanos no empezó sino

hasta 1880. En ese año se otorgaron dos concesiones a grupos competidores de empresarios norteamericanos, para las líneas troncales principales que comunicarían a la ciudad de México con la frontera del norte.

Estas líneas eran la de México-El Paso y México-Laredo. La primera, llamada **Ferrocarril Central**, fue concesionada a un grupo de inversionistas de Boston; la segunda, a la **Compañía Constructora Nacional Mexicana**, constituida legalmente en Denver, Colorado, por Palmer y Sullivan.

La línea del **Ferrocarril Central**, de escantillón normal, se tendió entre 1880 y 1884. El primer tren que recorrió toda la línea salió de la ciudad de México el 22 de marzo de 1884, con dirección a Chicago. La línea, de 1 970 km, se construyó en tres años, nueve meses y trece días, a un promedio diario de avance de 1.5 km, esta rapidez constituyó un acontecimiento en esa época. La línea Mexico-Laredo, de vía estrecha, se terminó en 1887.

A partir de 1880 se otorgaron otras muchas concesiones, por lo que la red ferroviaria del país creció rápidamente. De 1880 a 1884 se construyeron 4 851 km (*láminas 15 y 16*); de 1885 a 1898 la red aumentó 6 351 km (*lámina 17*); de 1899 a 1910 se construyeron 7 110 km más de líneas ferroviarias (*lámina 18*). En 1910 la red ferroviaria tenía 19 205 km, poco menos de lo que tiene la red actual.

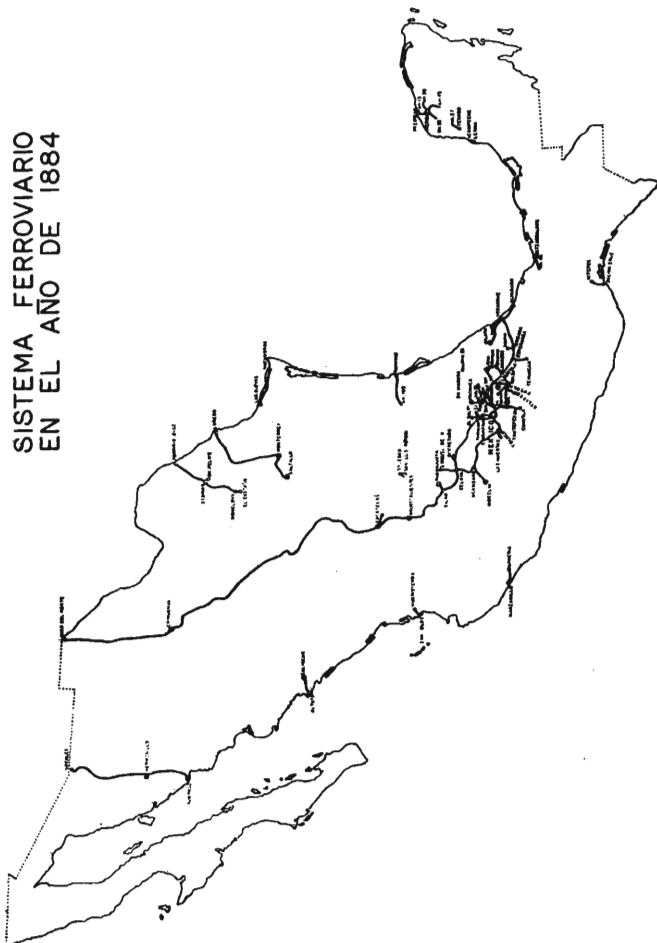
Como lo señala Coatsworth, estos datos demuestran claramente porqué la época de Porfirio Díaz se convirtió en sinónimo de la época del ferrocarril en la historia de México. A continuación se reproduce una sección de la obra antes citada de Coatsworth, sobre la política ferrocarrilera del régimen de Porfirio Díaz:

En un principio, el desarrollo de los ferrocarriles en México sirvió principalmente para fortalecer el nuevo régimen político al contribuir vigorosamente a la reducción del desempleo de la fuerza de trabajo y de otros recursos. Los factores de producción que habitualmente se consumían en la lucha militar y política, fueron orientados hacia la construcción de una moderna infraestructura. Las políticas de concesión y de regulación adoptadas por los gobiernos mexicanos durante el decenio de 1880 adhirieron al régimen porfirista los intereses de los hacendados, de los propietarios de minas y de los comerciantes más importantes, muchos de los cuales hacía tiempo que se lamentaban de la falta de medios de transporte adecuados. En el ambiente político y social de México, durante esa

SISTEMA FERROVIARIO EN EL AÑO DE 1880



LÁMINA 15. EL SISTEMA FERROVIARIO EN 1880.



LAMINA 16. EL SISTEMA FERROVIARIO EN 1884.



LÁMINA 17. EL SISTEMA FERROVIARIO EN 1898.

SISTEMA FERROVIARIO
EN EL AÑO DE 1910

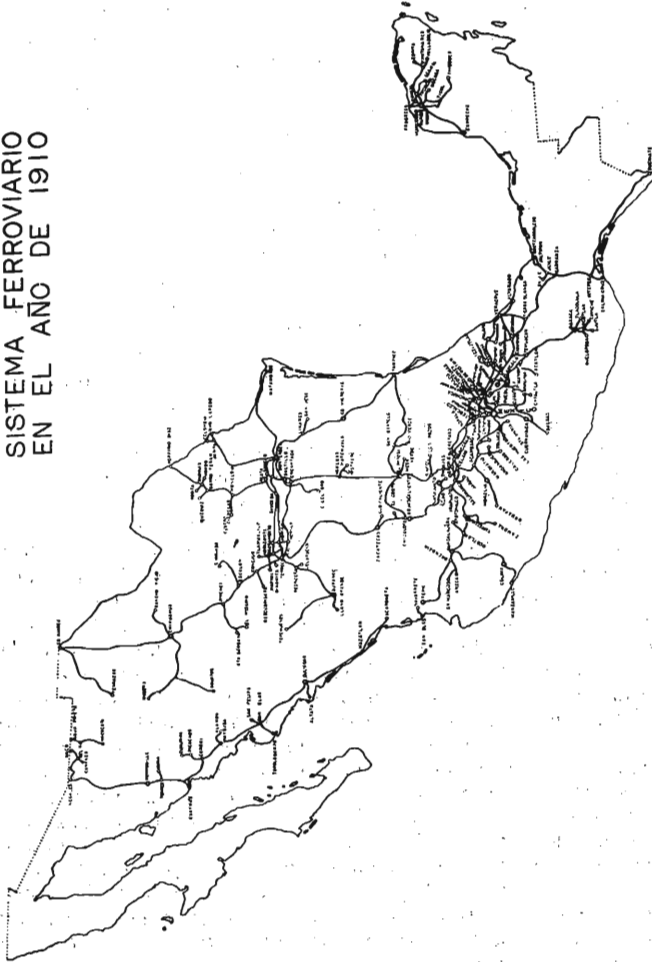


LÁMINA 18. EL SISTEMA FERROVIARIO EN 1910

época, la política concesionaria que resultaba menos peligrosa desde el punto de vista del gobierno, era la que otorgaba subsidios públicos a casi cualquier proyecto, sin importar la ruta que se intentara hacer. Así la distribución de los beneficios a las personas con propiedades como consecuencia del desarrollo del transporte, se llevó a cabo sobre la base de una asignación privada más oficial. Un gobierno que otorgaba concesiones y fondos públicos para la construcción de casi cualquier ferrocarril que se le propusiera, no podía ser acusado de discriminación. El mercado y no el gobierno se responsabilizaba del frecuente fracaso de los promotores para reunir el capital necesario para la construcción. En la medida en que el gobierno dio prioridades, éstas se encaminaron a la búsqueda de capitalistas privados, fueran nacionales o extranjeros, dispuestos a terminar una línea que atravesara el Istmo de Tehuantepec.

La liberalidad al otorgar concesiones era una política que se defendía fácilmente basándose en sus resultados dramáticos; se construyeron miles de kilómetros de vías en unos pocos años. La política, según aseguraban sus proponentes oficiales, manifestaba una confianza en las fuerzas del mercado, y en instituciones privadas, a menudo extranjeras, para determinar el patrón del desarrollo del transporte en México. La percepción de los capitalistas extranjeros, y en especial de aquellos empresarios norteamericanos que proyectaban extender sus intereses en México, incluía estimaciones de futuros beneficios privados de sus inversiones en este país, que podrían armonizar con sus compromisos en otros lugares.

Hacia finales del decenio de 1880, el desarrollo de los ferrocarriles había avanzado tanto como para alentar el establecimiento, en 1891, de una secretaría separada que fuera responsable de Comunicaciones y Obras Públicas. La creación de una nueva secretaría y el consiguiente incremento de la vigilancia reguladora reflejaba la conciencia cada vez mayor del gobierno sobre el grado en que la prosperidad de la nación, recién orientada hacia la exportación, dependía de los ferrocarriles. Se realizaron esfuerzos cada vez mayores para equilibrar las ganancias de los ferrocarriles con la rentabilidad necesaria de las crecientes industrias exportadoras atendidas por los ferrocarriles. El informe del secretario de Hacienda, José Yves Limantour, en 1898, sobre el sistema de comunicaciones del país, proponía una intervención incluso mayor del gobierno, para proporcionar una mejor supervisión de la red de vías existente y para orientar los estímulos públicos de acuerdo a las prioridades proyectadas para la futura construcción de ferrocarriles. El principal tema del informe de Limantour fue la necesidad de armonizar el sector de transporte con los requerimientos de las industrias de exportación en desarrollo, y el deseo de mantener la prosperidad del país prolongando la innovación del transporte hacia regiones más lejanas. Como resultado del interés del ministro, el presidente emitió una nueva Ley de ferrocarriles, después de contar con la autorización del Congreso, al año siguiente.

Una consecuencia importante de la nueva ley fue la creación de

una Comisión Revisora de Tarifas dentro de la Secretaría de Comunicaciones y Obras Públicas. El ministro designaba al presidente de la Comisión y a cuatro miembros regulares. Los cuatro miembros asignados se elegían con miras a tener una representación adecuada de los productores de carga, en especial de las grandes empresas exportadoras. Además, la Comisión incluía a dos representantes de las empresas ferroviarias, un miembro escogido por la Asociación Nacional de las Cámaras de Comercio, y otro representando a la Sociedad Agrícola, dominada por hacendados. Sólo los miembros regulares de la Comisión podían votar sobre las revisiones de tarifas. El ministro seguía casi invariablemente las recomendaciones de la Comisión en sus tratos con las compañías de ferrocarriles. La representación formal de las grandes empresas productoras en la determinación de las tarifas ferroviarias puede contribuir a explicar porqué los ingresos de los ferrocarriles por tonelada-kilómetro decrecieron tan agudamente en 1901-1902 y ya no lograron volver a los niveles anteriores en lo sucesivo.

Poco menos de cinco años después de que se promulgó la Ley de ferrocarriles en 1899, el secretario de Hacienda una vez más trató de incrementar la intervención del gobierno en la industria ferroviaria. Por una serie de medidas, entre los años 1903 y 1910, el gobierno negoció la compra de acciones suficientes para controlar a las compañías ferroviarias más grandes del país, y absorbió una cantidad de empresas menores. En las obras de los historiadores del porfiriato se le ha dado importancia primordial a esta historia de la "mexicanización" de los ferrocarriles mexicanos. En 1903, Limantour dio un primer paso para adquirir una mayoría de las acciones de la línea Interoceánica, que se encontraba casi en bancarota, y luego utilizó el capital de la Interoceánica y los fondos de un préstamo extranjero para asegurar el control del Nacional en el mismo año. En 1906 realizó las negociaciones para obtener las acciones suficientes para controlar el Central mediante otro préstamo extranjero y la manipulación del capital de la compañía. Finalmente en 1907, organizó una nueva compañía, la de los Ferrocarriles Nacionales de México, que se encargara de las líneas mexicanizadas. Con las líneas adquiridas por la nueva compañía después de 1907 y varias que ya eran propiedad del gobierno pero que operaban independientemente, más de las dos terceras partes de los ferrocarriles de vapor de concesión federal en México ya se habían mexicanizado hacia 1910.

Al iniciarse el porfiriato, se había considerado a los ferrocarriles como los iniciadores indispensables del crecimiento. Una vez que empezó el crecimiento del país, se consideró que los ferrocarriles eran decisivos para un desarrollo continuo. Durante los primeros años, las compañías de ferrocarriles habían sido las beneficiarias de las políticas del gobierno consagradas a estimular las inversiones.

A principios de 1890, el éxito mismo de los ferrocarriles al estimular las inversiones extranjeras en otras actividades había creado empresas poderosas que aceptaban con agrado el control del gobierno

como una garantía de tarifas razonables y de servicio eficiente. La mexicanización, tal como lo señaló Limantour repetidamente en sus informes, garantizaba las tarifas establecidas de acuerdo con los intereses "nacionales" que tenían prioridad, así como economías en la administración y mejoras en el estado del equipo y los servicios. La mexicanización coincidió exactamente con la orientación general de la política económica del régimen del porfiriato, que vio en el capital extranjero y en los mercados de exportación la clave del crecimiento económico y de su propia estabilidad política.

Como lo señala Daniel Cosío Villegas en el capítulo dedicado al porfiriato de su libro **Historia mínima de México**, los cambios materiales durante los 34 años del porfiriato fueron muy grandes:

Al concluir el porfiriato México pasó de tener en 1879 un solo ferrocarril de 460 km, a toda una red ferrocarrilera de 19 000 km. Paralelamente las comunicaciones postal, telegráfica y aún telefónica se extendieron hasta cubrir buena parte del territorio nacional. Se hicieron obras portuarias considerables en Veracruz, Tampico y Salina Cruz. Avanzado el porfiriato, se creó una serie de bancos que hicieron posible un ensanchamiento de la agricultura, la minería, el comercio y la industria. En suma, el país en su conjunto mejoró su economía en un grado y una extensión nunca antes visto.

La fórmula de: poca política mucha administración, funcionó satisfactoriamente largos años porque el país ansiaba paz y quería mejorar su condición económica y porque Porfirio demostró que podía mantener la paz y sabía cómo impulsar la economía nacional. Al final, sin embargo, se hizo cada vez más ingrata hasta provocar la rebelión maderista.

Cosío Villegas señala tres aspectos principales como causantes de la caída de Porfirio Díaz y de la explosión revolucionaria. En primer lugar, la distribución muy desigual e injusta de la riqueza: el progreso sólo benefició a las capas superiores de la pirámide social. En segundo lugar, la falta de movilidad social:

Esa dificultad para ascender de la capa inferior a la media y a la superior se palpaba desde luego en los terrenos económico y social, de modo que quien nacía pobre y era un don nadie, moría en esa misma condición. En un grado si se quiere mayor, esa dificultad se sentía en la vida propiamente política.

En tercer lugar, la falta de oportunidades para una nueva generación de jóvenes: abogados, médicos, ingenieros, comerciantes, que el mismo desarrollo económico había contribuido a desarrollar.

...Y que sentían la necesidad de hacerse presentes, de abrirse paso, de destacarse en la vida pública del país. Apetecían ocupar puestos de la burocracia oficial, en el parlamento, en la judicatura, en la enseñanza o el periodismo; pero los encontraban ocupados por viejos, y por unos viejos que vivían mucho más de la cuenta. Los jóvenes no advertían que los puestos eran pocos aún dentro del gobierno y menos todavía los que entonces podía ofrecer lo que hoy se llama la iniciativa privada. Sentían, en suma, que la sociedad estaba toda ella petrificada, y que a menos de sacudirla ellos mismos para renovarla, no tendrían cabida en ella.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Coatsworth, J.H., *El impacto económico de los ferrocarriles en el porfirato*, Sep Setentas, México, 1976.
2. Cosío Villegas, D., *Historia moderna de México. El porfirato. Vida económica*, Ed. Hermes, México, 1965.
3. Cosío Villegas, D. et al., *Historia mínima de México*, El Colegio de México, México, 1973.

CAPÍTULO 16

LA INDUSTRIA PETROLERA EN LA ÉPOCA CONTEMPORÁNEA

ANTECEDENTES HISTÓRICOS

El petróleo era ya conocido en la época precortesiana con el nombre náhuatl de *chapopotli*. Fray Bernardino de Sahagún relata en su obra **Historia general de las cosas de la Nueva España**:

El Chapopotli es un betún que sale de la mar, y es como pez de Castilla, que fácilmente se deshace, y el mar lo echa de sí con las ondas, y ciertos y señalados días, conforme al creciente de la luna; viene ancha y gorda a manera de manta, y ándanla a coger a la orilla los que moran junto al mar. Este chapopotli es oloroso y preciado entre las mujeres, y cuando se echa en el fuego su olor se derrama lejos.

Hay dos maneras de este betún, el uno es del con que se mezcla la masa o la resina olorosa, que se mete en los cañutos con que dan buen y trascendente olor.

El otro es de la pez que mascan las mujeres, llamada *tzictli* y para que la puedan mascar mézclanla con el axin, con el cual se ablanda.

Sin duda, la descripción de Sahagún corresponde a la existencia de manifestaciones de petróleo o chapopoterías en el golfo de México, como las que se han encontrado recientemente en la sonda de Campeche, que han conducido al descubrimiento de importantes yacimientos petroleros submarinos.

Sahagún añade la siguiente observación profética: *[Otros usos y otros disimulos esperan al chapopote]*.

En las **Reales ordenanzas para la dirección, régimen y gobierno del importante cuerpo de la minería de Nueva España**, expedidas en 1783, se dice en el título 60., artículo 22:

Asimismo concedo que se puedan descubrir, solicitar, registrar y denunciar en la forma referida no sólo las Minas de Oro y Plata, sino también las de Piedras preciosas, Cobre, Plomo, Estaño, Azogue, Antimonio, Piedra Calaminar, Bismuth, Salgema y cualesquiera otros fósiles, ya sean metales perfectos o medios minerales, bitúmenes ó jugos de la tierra, dándose para su logro, beneficio y laborío, en los casos ocurrentes las providencias que correspondan.

LAŠ PRIMERAS EXPLOTACIONES INDUSTRIALES DEL PETRÓLEO

Las primeras explotaciones industriales del petróleo se iniciaron en Rumania en 1857 y en Estados Unidos en 1859. El petróleo se usó inicialmente para el alumbrado; a partir de 1885 también como lubricante. Desde 1900 se lo empleó como combustible.

En México existen testimonios sobre la utilización del petróleo para la iluminación desde finales del siglo pasado. El 16 de abril de 1881, el doctor Adolfo Autrey tomó posesión de una mina de petróleo en terrenos del cantón de Papantla, Veracruz; meses después, el 22 de agosto de 1882, en una exposición realizada en Querétaro, el Dr. Autrey recibió un diploma en el cual se reconocía la calidad del petróleo iluminante que estaba produciendo en su refinería.

En 1886, el doctor Simon Sarlat Nova denunció una mina de petróleo en Tepatitlán, Tabasco, que había sido descubierta por el sacerdote Manuel Gil Sáenz en 1863; el doctor asociado con el licenciado Serapio Carrillo, adquirió equipo en Estados Unidos, para producir petróleo iluminante. En ese mismo año de 1886 entró en servicio, en Veracruz, una pequeña refinería llamada **El águila**, construida por los estadounidenses Samuel Fair y George Dickson; 12 años más tarde la **Water Pierce Oil Company** compró la refinería.

INICIO DE LA EXPLOTACIÓN DEL PETRÓLEO EN GRAN ESCALA

La producción industrial del petróleo en una escala importante la inician en México, a principios del presente siglo, dos empresarios extranjeros: el inglés Weetman Dickinson y el norteamericano Edward L. Doheny.

Pearson era un contratista que había realizado varias obras importantes en México, entre ellas gran parte del Gran Canal del Desagüe de la ciudad de México, las obras portuarias de Coatzacoalcos y Salina Cruz y el ferrocarril de Tehuantepec. Cuando trabajaba en esta obra, Pearson encontró ricas chapopoterías que explotó para obtener petróleo iluminante.

El auge de los negocios petroleros en Estados Unidos hizo comprender a Pearson la importancia de los descubrimientos de petróleo en México. Según relata López Portillo y Weber en su libro **El petróleo mexicano**, durante un viaje de Pearson a Inglaterra:

Al detenerse en Laredo, Texas, para transbordar, le tocó en suerte asistir a las escenas de la locura que allí provocó la localización del yacimiento petrolero de Spindle Top. Se dio entonces cuenta de la importancia que su hallazgo podía tener para él mismo, y entró en actividad febril. Su lugarteniente, Body, compró o arrendó, por precisas instrucciones telegráficas suyas, vastos terrenos a lo largo de la costa del Golfo.

Pearson obtuvo sus primeros éxitos en la producción de petróleo en los campos de San Cristóbal Copoacan, al Sur de Veracruz; en Minatitlán instaló una refinería.

El norteamericano Edward L. Doheny fundó la **Mexican Petroleum Company**. En 1901 compró la hacienda El Tullillo, situada en el municipio de El Ebano, San Luis Potosí, donde inició la perforación de un pozo petrolero. El 14 de mayo de ese mismo año, a 166 metros de profundidad brotó petróleo; allí se lograron extraer hasta 50 barriles diarios. Sin embargo, después de perforar 19 pozos, la producción de petróleo había sido muy reducida, por lo que la empresa había perdido 2.5 millones de dólares.

Por esa época, Doheny contrató al geólogo mexicano Ezequiel Ordóñez, quien había prestado antes sus servicios en el Instituto Geológico de México. Con la asesoría de Ordóñez se continuaron los trabajos de perforación; el 3 de abril de 1904 al llegar a la profundidad de 502 metros, brotó el pozo denominado La Pez No. 1, con una producción de 1 500 barriles diarios, que se mantuvo durante varios años. Las siguientes perforaciones fueron también muy productivas; un solo pozo, el Juan Casiano, llegó a dar 100 millones de barriles. Así empezó la primera época de bonanza del petróleo mexicano.

A Ezequiel Ordóñez se debe en gran parte tanto el estudio y desarrollo del campo petrolero de El Ebano, en la huasteca potosina, que fue inicialmente el yacimiento más importante del país; como el descubrimiento de la Faja de Oro, constituida por yacimientos localizados en la planicie costera del golfo de México, al sur de Tampico.

A fines de 1905 la **Mexican Petroleum Company** firmó un contrato en el que se comprometió a surtir al **Ferrocarril Central Mexicano** la cantidad de

6 000 litros diarios de petróleo crudo durante 15 años. Así se inició el uso del petróleo como combustible en los ferrocarriles mexicanos.

Doheny tomó también la iniciativa de utilizar el asfalto producido en El Ebanito para pavimentar varias calles de la ciudad de México. Como los resultados fueron satisfactorios, se solicitaron sus servicios para asfaltar calles de Tampico, Veracruz, Guadalajara, Puebla, Monterrey y Chihuahua.

Antes de continuar con el desarrollo de la industria petrolera en México, conviene analizar la evolución de la legislación minera, especialmente la ley del petróleo expedida por el gobierno porfirista en 1901, con base en la cual se otorgaron concesiones a varias compañías extranjeras.

LA LEGISLACIÓN SOBRE LAS MINAS Y EL PETRÓLEO

Como se anotó en el capítulo 13, Carlos III expidió en 1783 las **Reales ordenanzas para la dirección, régimen y gobierno del importante cuerpo de la minería de Nueva España**. A continuación se reproduce el título 5o. de las Ordenanzas.

Del dominio radical de las minas: de su concesión a los particulares; y del derecho que por ésto deben pagar:

Artículo 1o.

Las minas son propias de mi Real Corona, así por su naturaleza y origen, como por su reunión dispuesta en la lei 4a. titº. 13 libº. 6º. de la Nueva Recopilación.

2

Sin separarlas de mi Real Patrimonio las concedo a mis Vasallos en propiedad y posesión, de tal manera que puedan venderlas, permutarlas, arrendarlas, donarlas, dexarlas en testamento por herencia o manda, o de cualquiera otra manera enagenar el derecho que en ellas les pertenezca en los términos que lo posean, y en personas que puedan adquirirlo.

3

Esta concesión se extiende baxo de dos condiciones: la primera, que hayan de contribuir en mi Real Hacienda la parte de metales se-

nalada; y la segunda, que han de labrar y disfrutar las Minas cumpliendo lo prevenido en estas ordenanzas, de tal suerte que se entiendan perdidas siempre que se falte al cumplimiento de aquellas en que así se previnere, y puedan concedérsele a otro cualquiera que por este título las denunciare.

Estas ordenanzas se aplicaban, de acuerdo con el artículo 22 del título 6º, antes citado, a todos, los minerales y [*bitúmenes o jugos de la tierra*].

El párrafo 12 del Tratado de Córdoba que firmaron Agustín de Iturbide y Juan O'Donojú el 24 de agosto de 1821, al consumarse la independencia de México, establece que la nueva nación mexicana se regirá por las leyes vigentes en la Nueva España, entre las que se incluyen las **Ordenanzas de la minería**. El Estado mexicano sustituye al monarca español como propietario de las minas.

El general Porfirio Díaz expide en 1892 una nueva ley minera, que en su artículo 4º dispone:

El dueño del subsuelo lo explotará libremente, sin necesidad de concesión especial en ningún caso, las substancias minerales siguientes: los combustibles minerales, los aceites y aguas minerales... La producción minera legalmente adquirida, y la que en lo sucesivo se adquiera con arreglo a esta ley será irrevocable y perpetua...

El 24 de diciembre de 1901 se expide una ley destinada específicamente al petróleo. López Portillo y Weber, en su libro **El petróleo mexicano**, señala que en esa ley:

Se autoriza la explotación petrolera en los terrenos baldíos y nacionales, zonas federales y lechos corrientes y masas de agua en México, concediendo por diez años libre importación de maquinaria; libre explotación de productos; exención de todo impuesto sobre la inversión; derecho para comprar terrenos nacionales al precio de baldíos; para expropiar los particulares que necesitare; derecho de paso por terrenos particulares; zona de protección circular con radio de 3 km en torno de cada pozo.

El 25 de noviembre de 1905 se expide otra ley, ésta determina:

...de la exclusiva propiedad del dueño del suelo: I. Los criaderos o depósitos de combustibles minerales, bajo todas sus formas variedades. II. Los criaderos o depósitos de materias bituminosas.

Como resultado de las facilidades proporcionadas por esta legislación, en 1906 se expiden 3 327 nuevos títulos de propiedad minera a particulares.

EL PRIMER AUGE PETROLERO EN MÉXICO

El uso del petróleo como energético se extendió rápidamente en Estados Unidos y en Europa, esto causó una revolución en la industria y en los transportes. Simultáneamente se inició la formación de las grandes compañías petroleras; en Estados Unidos, Rockefeller organizó en 1882 la **Standard Oil** mediante la fusión de 40 empresas, esta nueva compañía se propuso la normalización de los productos petroleros.

En México, Doheny formó en 1907 una nueva compañía, la **Huasteca Petroleum Company**, que en 1910 inició la exportación de petróleo crudo a Estados Unidos.

Por otra parte, en 1908 se constituyó la **Compañía Mexicana de Petróleo El Aguila**, con capitales ingleses. Ese mismo año se produjo en Europa la fusión de la compañía petrolera **Royal Dutch** con la compañía naviera inglesa **Shell**, así se creó otro de los grandes *trusts* petroleros mundiales.

A pesar que el 20 de noviembre de 1910 estalló el movimiento revolucionario que derrocó el régimen de Porfirio Díaz, no se alteró la marcha ascendente de la industria petrolera. En 1911 la producción fue de 12.5 millones de barriles, muy superior a la de 1910, que fue de 3.6 millones de barriles. La producción siguió creciendo hasta alcanzar en 1921 la cantidad de 193 millones de barriles; México ocupó ese año el segundo lugar en la producción mundial.

LA REVOLUCIÓN MEXICANA Y EL PETRÓLEO

La mayor parte de la producción petrolera se exportaba como petróleo crudo, por eso México importaba productos elaborados en Estados Unidos. La exportación de petróleo mexicano cobró gran importancia estratégica durante la primera guerra mundial, de 1914 a 1918, ya que resultaba indispensable para las fuerzas aliadas, especialmente para la marina de guerra británica.

Las generosas condiciones que la legislación expedida durante el gobierno de Porfirio Díaz había otorgado a las compañías petroleras extranjeras, provocó que México se beneficiase muy poco de la exportación del petróleo obtenido en su territorio.

Cuando Madero ocupó la presidencia, encontró que la producción del petróleo de 1911, cuatro veces mayor que la de 1910, representaba un valor de 4 139 554 pesos; pero la tributación de la industria petrolera en ese año sólo había sido de 26 mil pesos, ya que el petróleo únicamente estaba gravado con el impuesto del timbre.

El gobierno maderista decretó un impuesto de veinte centavos de dólar por tonelada de petróleo, cantidad bastante menor a la que las compañías petroleras pagaban en Estados Unidos.

Sin embargo, las compañías petroleras extranjeras se opusieron al pago del impuesto. El embajador de Estados Unidos Henry Lane Wilson presentó una nota del Departamento de Estado, en ella se protestó por el que se consideraba [*discriminatorio y casi confiscatorio impuesto de exportación sobre los productos del petróleo*]. El problema se agravó cuando la Cámara de Diputados rechazó por 122 votos contra 5 un contrato firmado por la **Standard Oil**, de Rockefeller, con la Secretaría de Comunicaciones para la construcción de un oleoducto desde los campos petroleros de Veracruz hasta los Estados Unidos, pasando por Matamoros. La oposición pública a este proyecto fue encabezada por los estudiantes de Tamaulipas, entre cuyos líderes estaba el joven Emilio Portes Gil.

Los consorcios petroleros solicitaron a Taft, presidente de Estados Unidos, el uso de la fuerza militar; el gobierno de Washington atendió la solicitud, envió barcos de guerra a patrullar las costas mexicanas del Golfo. Según el secretario de Estado, Philander C. Knox, se buscaba así [*mantener a los mexicanos en un sano equilibrio entre la aprensión por un peligro exagerado y un grado apropiado de temor saludable*].

Madero, ante las dificultades externas e internas, aplazó la vigencia de los nuevos impuestos. Esto, aunado a la derrota de Taft en las elecciones de Estados Unidos frente al demócrata Wilson, partidario de una legislación contra los monopolios, alejó el peligro de una intervención.

En 1917, la Asamblea Constituyente, reunida en Querétaro, elaboró y aprobó la nueva Constitución que plasmaba los ideales del movimiento revolucionario. El artículo 27, tal como fue aprobado por los constituyentes, establece:

La propiedad de las tierras y aguas comprendidas dentro de los límites del territorio nacional, corresponde originalmente a la nación, la cual ha tenido y tiene el derecho de transmitir el dominio de ellas a los particulares, constituyendo la propiedad privada. Las expropiaciones sólo podrán hacerse por causa de utilidad pública y mediante indemnización. La nación tendrá en todo tiempo el derecho de imponer a la propiedad privada las modalidades que dicte el interés público, así como el de regular el aprovechamiento de los elementos naturales susceptibles de aprobación, para hacer una distribución equitativa de la riqueza pública y para cuidar de su conservación. Con este objeto, se dictarán las medidas necesarias para el fraccionamiento de los latifundios; para el desarrollo de la pequeña propiedad agrícola en explotación; para la creación de nuevos centros de población agrícola con las tierras y aguas que les sean indispensables para el fomento de la agricultura y para evitar la destrucción de los elementos naturales y los daños que la propiedad pueda sufrir en perjuicio de la sociedad. Los núcleos de la población que carezcan de tierras y aguas o no las tengan en cantidad suficiente para las necesidades de su población, tendrán derecho a que se les dote de ellas, tomándolas de las propiedades inmediatas, respetando siempre la pequeña propiedad agrícola en explotación.

Corresponde a la nación el dominio directo de todos los minerales o subsistencias que en vetas, mantos, masas o yacimientos, constituyan depósitos cuya naturaleza sea distinta de los componentes de los terrenos, tales como los minerales de los que se extraigan metales y metaloides utilizados en la industria; y los yacimientos de piedras preciosas, de sal de gema y las salinas formadas directamente por las aguas marinas; los productos derivados de la descomposición de las rocas, cuando su explotación necesite trabajos subterráneos; los yacimientos minerales u orgánicos de materias susceptibles de ser utilizadas como fertilizantes; los combustibles minerales sólidos; el petróleo y todos los carburos de hidrógeno sólidos, líquidos o gaseosos. La capacidad para adquirir el dominio de las tierras y aguas de la nación se regirá por las siguientes prescripciones:

1. Sólo los mexicanos por nacimiento o por naturalización y las sociedades mexicanas, tienen derecho para adquirir el dominio de las tierras, aguas y sus accesorios, o para obtener concesiones de explotación de minas, aguas o combustibles minerales en la República Mexicana. El Estado podrá conceder el mismo derecho a los extranjeros siempre que vengan ante la Secretaría de Relaciones en considerarse como nacionales respecto de dichos bienes, y en no invocar, por lo mismo, la protección de

sus gobiernos por lo que se refiere a aquéllos; bajo la pena, en caso de faltar al convenio, de perder, en beneficio de la nación, los bienes que hubieran adquirido en virtud del mismo. En una faja de cien kilómetros a lo largo de las fronteras y de cincuenta de las playas, por ningún motivo podrán los extranjeros adquirir el dominio directo sobre tierras y aguas.

La reacción de las compañías petroleras y del gobierno de Estados Unidos, país que se encontraba entonces en guerra, la describe el historiador Lorenzo Meyer en su artículo **El auge petrolero y las experiencias mexicanas disponibles. Los problemas del pasado y la visión del futuro:**

Fue en buena medida el carácter estratégico del petróleo lo que impidió que Estados Unidos recurriera a la invasión a pesar de la reforma constitucional de 1917, pero a la vez fue esto mismo lo que llevó a que se diera un apoyo encubierto al general Manuel Peláez para que éste mantuviera el grueso de la zona petrolera fuera del control de Carranza. Aun sin la invasión, no debe olvidarse que una de las constantes entre 1916 y 1920 fue la amenaza que pesó sobre México de que aquélla se materializara para proteger y mantener el dominio de las empresas extranjeras sobre recursos naturales considerados vitales para la economía y seguridad norteamericanas. Finalmente la invasión no tuvo lugar, pero Carranza sí se vio impedido de poner en práctica el artículo 27 en lo referente al petróleo. Cuando se dio el decreto del 19 de febrero de 1918, que exigía a las empresas petroleras obtener una concesión gubernamental para continuar sus actividades, éstas, apoyadas por el Departamento de Estado, simplemente se negaron a cumplirlo. El gobierno mexicano, con su soberanía en entredicho, tuvo que dar marcha atrás, y en agosto reconoció tácticamente que los depósitos hasta ese momento en manos de las empresas extranjeras seguirían siendo explotados por éstas pese a su rebeldía; las reformas se pospusieron para mejor ocasión.

A partir de 1922, la producción de los campos petroleros mexicanos empezó a declinar; en 1932 se había reducido a 33 millones de barriles anuales. En cambio, las compañías petroleras impulsaron la producción petrolera en Venezuela, al amparo de la dictadura de Juan Vicente Gómez.

En 1925, el presidente Calles promulgó la ley que reglamentó el artículo 27 constitucional, en la parte relativa al petróleo. Esto desató otro conflicto con las compañías petroleras extranjeras, que el historiador Lorenzo Meyer relata en su estudio antes citado:

Las compañías petroleras —contrarias a esta legislación— contaron con un año para acatar los términos de la ley, pero el plazo transcurrió sin que éstas dieran muestras de querer someterse a las nuevas disposiciones. Argumentaban que la legislación era retroactiva, entre otras cosas porque limitaba a 50 años el periodo de las concesiones que originalmente se les habían otorgado a perpetuidad y también porque no reconocía sus derechos sobre todos los terrenos comprados o arrendados antes de que la Constitución de 1917 entrara en vigencia, a menos que hubieran hecho trabajos encaminados a extraer petróleo antes de mayo de ese año. El gobierno norteamericano apoyó la rebeldía empresarial como lo había ya hecho en el pasado inmediato; la tensión llegó a un punto en que se temió que Estados Unidos usara la fuerza para impedir que Calles interfiriera en las actividades de las empresas rebeldes. Pero a mediados de 1927, y por motivos de orden interno, el Congreso norteamericano y varios sectores de la opinión pública de ese país dejaron de apoyar al Ejecutivo en su relación con México, y Washington debió cambiar su política. Calles, por su parte, no interfirió en la extracción —ahora ilegal— de petróleo. Estados Unidos cambió a su embajador en México y envió a un representante de la conciliación: Dwight Morrow. Para principios de 1928, Morrow había logrado un arreglo informal con Calles; México modificó su ley petrolera acabando con el límite de los derechos adquiridos y, a cambio, el gobierno norteamericano aceptó que se mantuvieran algunos de los puntos que objetaban las compañías, en particular la necesidad de cambiar los títulos de propiedad absoluta por “concesiones confirmatorias” otorgadas por el gobierno. Aunque para propósitos prácticos los intereses reales de las empresas no resultaron afectados, la verdad es que sí hubo modificación en su posición legal: sus títulos ya no les daban la propiedad absoluta sobre el petróleo en el subsuelo. Por ello las empresas protestaron ante Washington. Contaron en este intento con el apoyo de los grandes diarios de ese país, que lamentaron la debilidad que mostraba el Departamento de Estado ante México, pero el gobierno norteamericano se mantuvo firme, y las empresas terminaron por aceptar a regañadientes el cambio de sus títulos. La actitud conciliadora hacia México era parte de un arreglo general de los varios asuntos pendientes con ese país, así como de una nueva política latinoamericana.

LA EXPROPIACIÓN PETROLERA

El 18 de marzo de 1938, el general Lázaro Cardenas, Presidente de la República, decretó la expropiación por causa de utilidad pública y a favor de la Nación de las propiedades de las compañías petroleras extranjeras, que se habían declarado en abierta rebeldía contra las autoridades mexicanas, al negarse a obedecer la resolución de la Junta Federal de Conciliación y Ar-

bitraje que daba solución al conflicto que tenían planteado con el Sindicato de Trabajadores Petroleros, y el laudo de la Suprema Corte de Justicia que declaraba constitucional la resolución mencionada.

Con este decreto histórico se recuperó el dominio de la nación sobre la industria petrolera, que ha sido la base del desarrollo económico de México en los últimos años.

Meyer describe la confrontación que tuvo lugar a raíz de la expropiación petrolera:

Mientras las empresas no aceptaron la legalidad de la medida expropiatoria el gobierno norteamericano sólo la condicionó al pago "pronto, adecuado y efectivo" de lo que el gobierno mexicano acababa de tomar. La diferencia entre Washington y las empresas no se ahondó de inmediato, porque México no estuvo en posibilidad de efectuar el pago en los términos demandados por el gobierno norteamericano y las compañías y Washington presionaron a Cárdenas al mismo tiempo. Sin embargo, cuando el régimen cardenista llegó a su fin y México se encontró —para asombro de muchos— codo con codo al lado de Estados Unidos en la lucha contra el Eje, la situación cambió. El interés del gobierno norteamericano requería cooperación económica real de México —proveedor de materias primas y mano de obra—, y cooperación estratégica: lograr el paso de aviones hacia la zona del canal de Panamá, coordinar la vigilancia del litoral del Pacífico, e incluso instalar bases navales al sur del Bravo. En principio México se mostró dispuesto a negociar todas las demandas a cambio de un arreglo final sobre el pago de los bienes expropiados a las empresas petroleras y de otras deudas pendientes con Estados Unidos. Contra la voluntad de la Standard Oil (N.J.), el Departamento de Estado llegó en 1942 a un acuerdo sobre el avalúo de lo expropiado por México así como sobre la forma que tendría el pago diferido. Acto seguido el Departamento de Estado informó a los representantes de las empresas afectadas que debían aceptar esos términos o resignarse a no recibir más ayuda del gobierno norteamericano frente a México. En noviembre de 1943 la Standard Oil y otras empresas afectadas firmaron, muy a su pesar, un acuerdo sobre los términos de su liquidación, lo cual no les impidió volver a quejarse por el abandono en que les dejó su gobierno.

El arreglo por la expropiación de la **Compañía Mexicana de Petróleo El Aguila**, filial de la compañía anglo-holandesa **Royal Dutch Shell**, fue más difícil, a causa de la posición intransigente del gobierno británico. En una nota

del gobierno inglés, entregada al Secretario de Relaciones Exteriores de México el 20 de abril de 1938, se plantea lo siguiente:

El gobierno de Su Majestad no interviene en favor de la Compañía Mexicana de Petróleo El Aguila, sino en favor de esa gran mayoría de los accionistas de dicha compañía, cuya nacionalidad es inglesa. Mi gobierno conoce perfectamente bien la nacionalidad mexicana de la Compañía de Petróleo El Aguila, S.A., en el sentido de que se constituyó conforme a la ley mexicana y en ninguna forma trata de negar esto; pero queda en pie el hecho de que la mayoría de los accionistas, que son quienes sufrirán, en última instancia, a causa de la acción del gobierno mexicano, son ingleses y que la empresa en cuestión es esencialmente un interés británico. Por esta razón solamente, el gobierno de Su Majestad tiene el derecho, que no puede ser afectado por nada que contenga la Constitución mexicana, para protestar contra cualquier acción que considere injustificada y para pedir la restitución de sus bienes e importantes intereses británicos, como el único medio práctico de evitarles un serio daño.

En vista de esta actitud, el gobierno de México rompió relaciones diplomáticas con la Gran Bretaña el 13 de mayo de 1938. Hasta después de terminada la segunda guerra mundial se llegó a un acuerdo con el gobierno inglés sobre la expropiación de la **Compañía Mexicana de Petróleo El Aguila**. Antonio J. Bermúdez, quien fue Director General de Petróleos Mexicanos durante 12 años, de 1946 a 1958, describe los términos de ese arreglo y su comparación con los arreglos anteriores:

Como fui designado por el Presidente Alemán para negociar el arreglo de indemnización a El Aguila, con el enviado especial del Gobierno Británico, profesor Charles Vincent Ylling; y no con representantes de la compañía (en ninguna ocasión, durante las pláticas, intervino el señor Davidson, quien, como representante de las compañías, sólo firmó los convenios); y como de tales negociaciones resultaron las cifras y los términos del convenio que finalmente aprobaron las partes, quiero hacer referencia a las críticas del profesor Silva Herzog.

Contrariamente a lo que se ha dicho, el arreglo con El Aguila fue benéfico y razonable en su costo. Proporcionalmente, se pagó menos que en el promedio de los arreglos; menos que lo pagado a las compañías norteamericanas según el convenio Zevada-Cooke y mucho menos que lo que se pagó, en dinero y petróleo, al grupo Sinclair.

En efecto, para comparar el valor relativo de cada grupo de compañías dentro del conjunto de las que fueron expropiadas, es útil recurrir a los avalúos que formularon los peritos, tanto en

el conflicto de orden económico que precedió a la expropiación como en el procedimiento en que debía determinarse el importe de la indemnización. El valor total atribuido a las empresas expropiadas fue de \$223 864 756 y el valor de cada uno de los grupos de compañías fue el siguiente:

Valor de las empresas expropiadas		
	Pesos	Por cientos
Grupo Sinclair	20 625 667	9.216
Grupo Zevada-Cooke	41 407 578	18.502
Otros	3 788 426	1.692
Subtotal	65 821 671	29.410
Grupo Aguila	157 983 085	70.590
Total	223 804 756	100.000

Como puede apreciarse, el grupo Aguila representaba, según la estimación oficial, el 70.6% de toda la industria petrolera en México afectada por la expropiación. En valor era pues de más del doble que todas las demás empresas juntas. El grupo Standard Oil, objeto del convenio Zevada-Cooke, representaba el 18.5% y el grupo Sinclair sólo el 9.21%.

La indemnización total pactada y pagada por México a todas las compañías expropiadas, ascendió a un poco más de 127 millones de dólares, de la que correspondieron al grupo Aguila, 81 250 000; es decir, el 63.9%, lo que compara favorablemente con el 70.6% que representaba en la Industria. El grupo Standard Oil, que representaba el 18.5%, recibió el 18.87% y el grupo Sinclair, cuya participación era del 9.21%, recibió efectivamente el 16.12%. Para atribuir este porcentaje al grupo Sinclair, he tomado en cuenta que la indemnización fue doble: por un lado, una suma en efectivo de 8.5 millones de dólares pagaderos en dos años y por el otro, un contrato de compraventa sobre 20 millones de barriles de petróleo crudo de Poza Rica, que fue el incentivo para el arreglo, en el que se estipuló un descuento en favor de Sinclair que, por haberse fijado entre un precio mínimo de 60 centavos y un máximo de 90 centavos de dólar por barril y no como descuento sobre el precio del mercado, significó un pago adicional para la Sinclair de 12 millones de dólares, por lo que el total ascendió a 20.5 millones de dólares.

La ventaja para la Sinclair pudo haber sido 3.5 millones de dólares más alta, de no haber sido por el aumento en el precio que personalmente obtuvo, 7 años más tarde, en negociación directa

con Sinclair para el saldo aun no entregado de la cantidad de 20 millones de barriles objeto del contrato.

Que el contrato de venta de crudo de Poza Rica, y el descuento en el precio que se pactó en él fueron el incentivo para este arreglo, no ofrece duda. El propio profesor Silva Herzog al relatar las negociaciones dice que "Sinclair exigía cuarenta millones de barriles de petróleo crudo de Poza Rica como compensación por los bienes que le habían sido expropiados". En la evolución de las negociaciones, Sinclair propuso por escrito un pago de nueve millones de dólares y "un contrato de compraventa por veinte millones de barriles de petróleo en cuatro años, a un precio que resultaba muy por debajo del precio del mercado y en el límite de los costos de producción". Finalmente, se logró reducir la indemnización a 8.5 millones de dólares y se pudo mejorar el precio por barril de crudo de Poza Rica, se señaló un precio fijo para el primer año y se basó el de los tres años posteriores en una escala móvil "a fin de garantizar los intereses de México en el caso de un alza, lo que entonces parecía lógico a causa de la guerra en Europa". El precio fijo representaba un descuento sobre el precio del mercado; y aún la escala móvil, si bien hacía subir el precio, quedaba por abajo del precio del mercado y no podía seguir subiendo con el mercado mismo, puesto que se pactó un tope de 90 centavos de dólar por barril. La ventaja adicional para la Sinclair fue, así, de 12.5 millones de dólares, que México pagó con petróleo crudo. El propio General Cárdenas consideró oneroso, pero benéfico este arreglo. Debe decirse que no fue oneroso si se consideran los enormes beneficios que produjo: singularmente, el reconocimiento de la expropiación y la ruptura del frente unido de las empresas, que abrió el camino para los otros arreglos.

Los arreglos de indemnización montaron a un total de un poco más de 127 millones de dólares, distribuidos como lo muestra el cuadro siguiente:

Proporción de las indemnizaciones

	Dólares	Por cientos
Grupo Sinclair	20 500 000	16.123
Grupo Standard Oil	23 995 991	18.873
Otros	1 400 000	1.101
Subtotal	45 895 991	36.097
Grupo Aguila	81 250 000	63.903
Total	127 145 991	100.00

Resulta, pues, que el arreglo con El Aguila no fue oneroso para el país, sino que, por el contrario, fue bueno y, en proporción, inferior al promedio pactado en todos los convenios de indemnización.

EL PETRÓLEO NACIONALIZADO Y EL DESARROLLO ECONÓMICO DE MÉXICO

El país ha dependido, para satisfacer sus necesidades de energéticos y para apoyar su desarrollo industrial, fundamentalmente de los hidrocarburos; ha sido básicamente autosuficiente hasta la fecha, con excepción de un periodo comprendido entre 1970 y 1974, en que tuvo que hacer importaciones de cierta magnitud.

Sobre este periodo, Bermúdez apunta en su libro antes mencionado:

La crisis fue efectivamente grave. No trascendió sino para los enterados porque un hecho afortunado, pero no fortuito: el descubrimiento de la nueva y rica provincia petrolera en Tabasco y Chiapas, que comenzó a producir a principios de 1973, permitió superarla. Al comenzar ese año se había llegado al punto más bajo del desequilibrio entre reservas del subsuelo y producción, por un lado, y consumo creciente por el otro. Las importaciones, ya no sólo de derivados sino inclusive de petróleo crudo iban en aumento. Si la situación hubiera continuado hasta el otoño, cuando se cuadruplicaron los precios del crudo, el costo de nuestras crecientes importaciones habría sido catastrófico para la economía de Petróleos Mexicanos y para la de México.

Fueron dos las causas principales por las que se llegó a esta situación de insuficiencia de la producción petrolera para cubrir las necesidades nacionales. Por una parte, la política de precios fijos de los productos petroleros nacionales frente a costos crecientes de producción, causó que el sector petrolero no generase los recursos financieros suficientes para mantener un ritmo adecuado de inversiones en las actividades de exploración y producción.

Por otra parte, la abundancia y el bajo precio del petróleo en el mundo durante la década de los años 60, condujo a algunos especialistas a pensar que era más barato y conveniente importar petróleo que invertir en exploración para mantener la autosuficiencia nacional. Como lo señala Bermúdez:

...En el sexenio 1959-1964 se pretendió implantar una política de importaciones de crudo, a pretexto de que era buen negocio pro-

cesar en nuestras refinerías crudo importado en vez del producido localmente.

Como se dijo antes, el descubrimiento en 1972 de nuevos yacimientos de hidrocarburos en el suroeste del país, y la rapidez con que Petroleos Mexicanos logró ponerlos en producción; permitió recuperar a fines de 1974 la autosuficiencia en petróleo crudo y en gas natural, y generar excedentes para la exportación.

BIBLIOGRAFÍA CONSULTADA

1. Bermúdez, A. J., *La política mexicana*, Ed. Joaquín Mortiz. Col. Cuadernos, México, 1976.
2. Meyer, L., *El auge petrolero y las experiencias mexicanas disponibles. Los problemas del pasado y la visión del futuro*. Rev. Foro Internacional, abril-junio 1978.
3. SEFI (ed.), *Reales ordenanzas para la dirección del importante cuerpo de la minería de la Nueva España*, Ed. facsimilar de la Sociedad de Exalumnos de la Facultad de Ingeniería, México, 1976.
4. López Portillo y Weber, J., *El petróleo mexicano*, Fondo de Cultura Económica, México, 1975.

1. **INTERDISCIPLINARIEDAD**
Roberto FOLLARI
2. **INTRODUCCIÓN A LA EDUCACIÓN ESTÉTICA**
V́ctor M. REYES
3. **ENSAYOS DE COMUNICACIÓN**
Horacio GUAJARDO ELIZONDO
4. **LA EVASIÓN FISCAL EN MÉXICO**
Pascual GARCIA ALBA IDUÑATE
5. **ENSAYOS DE SOCIOLOGÍA Y POLÍTICA**
Francisco J. PAOLI B.
6. **LA ADQUISICIÓN DE LA FUERZA DE TRABAJO ASALARIADO Y SU EXPRESIÓN JURÍDICA**
Graciela Irma BENSUSAN AREOUS
7. **HUANCITO LA ALFARERÍA EN UNA COMUNIDAD PURÉPECHA**
Manuel JIMENEZ CASTILLO
8. **SISTEMA ECONÓMICO, PLANIFICACIÓN Y EMPRESA PÚBLICA EN MÉXICO**
Jorge RUIZ DUEÑAS
9. **LA REFORMA POLÍTICA**
Miguel Angel GRANADOS CHAPA
10. **SEMINARIO DE COMUNICACIÓN SOCIAL**
UAM-AMIC
11. **LAS ORGANIZACIONES SINDICALES, OBRERAS Y BUROCRÁTICAS CONTEMPORÁNEAS EN MÉXICO**
Javier FREYRE RUBIO
12. **LA MERCADOTECNIA COMO PROCESO EDUCATIVO NO FORMAL**
Jorge SANCHEZ DE ANTUÑANO B.
13. **ON O T'IAN ANTIGUA PALABRA NARRATIVA INDÍGENA CHOL**
Jesús MORALES BERMUDEZ
14. **LA INCONSTITUCIONALIDAD DEL DELITO DE ABORTO**
Agustín PEREZ CARRILLO
15. **LA HIPERURBANIZACIÓN EN EL VALLE DE MÉXICO I**
Esteban SOMS GARCIA
LA HIPERURBANIZACIÓN EN EL VALLE DE MÉXICO II
Esteban SOMS GARCIA
16. **INGENIERÍA Y SOCIEDAD**
Jacinto VIQUEIRA LANDA

Ingeniería y Sociedad se terminó de imprimir el 5 de marzo de 1987. Se tiraron 1500 ejemplares más sobrantes para reposición en **Winko Impresores, S.A. de C.V.** Edición de la Coordinación de Extensión Universitaria de la Universidad Autónoma Metropolitana Azcapotzalco.

Formato de Papeleta de Vencimiento

El usuario se obliga a devolver este libro en la fecha señalada en el sello mas reciente

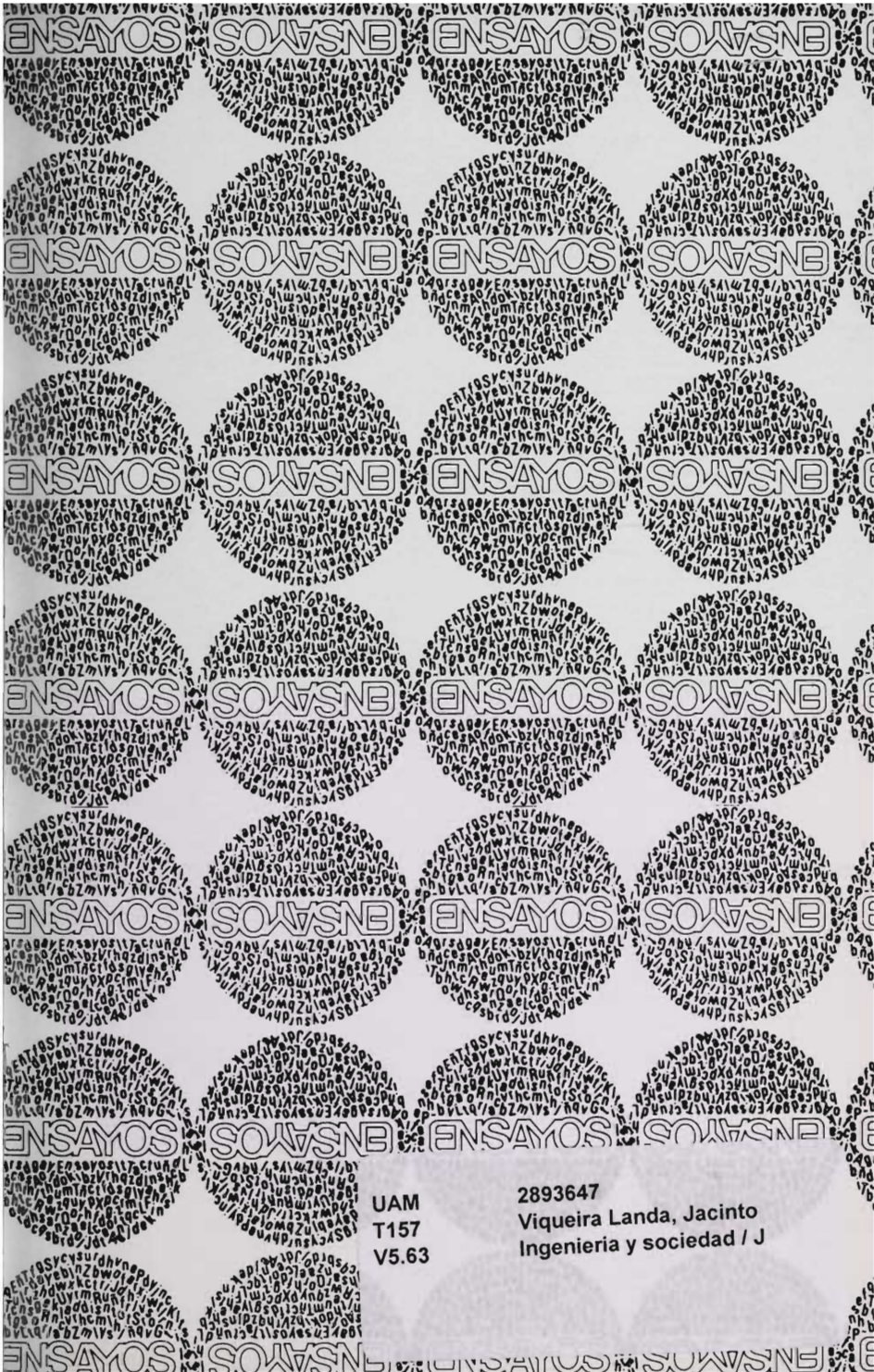
Código de barras. 2893647

FECHA DE DEVOLUCION

- Ordenar las fechas de vencimiento de manera vertical.
- Cancelar con el sello de "DEVUELTO" la fecha de vencimiento a la entrega del libro



2893647



UAM
T157
V5.63

2893647
Viqueira Landa, Jacinto
Ingenieria y sociedad / J

