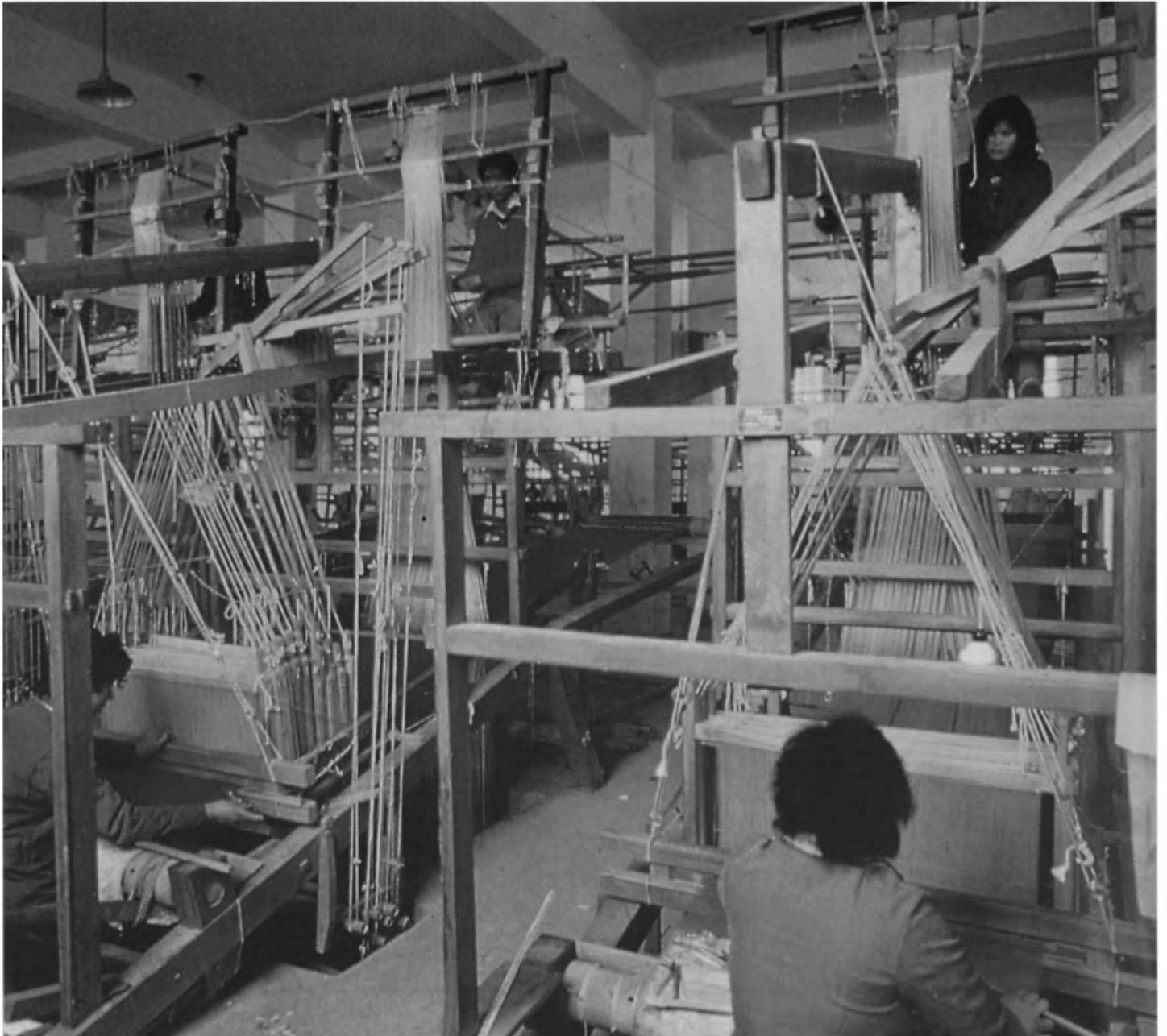




EL GENIO CIENTIFICO DE CHINA



Lo que el mundo debe
al gran país de Oriente
en materia
de ciencia y tecnología



TEJIENDO BROCADO ANTIGUO

Estos telares son copias contemporáneas de un viejo telar chino de la época de la dinastía Ming (1368-1644). Los telares de este tipo, lo más perfecto conseguido hasta entonces en tecnología del tejido, servían para fabricar telas labradas, especialmente el llamado “brocado de nubes” (*yunjin*), tejido de seda pólcroma con dibujos de flores y nubes.

Mientras el tejedor realiza los cruzados con su pedaleo, otro obrero instalado más arriba se encarga del dibujo.

Como sigue siendo muy difícil automatizar la producción del brocado, todavía hoy se utilizan los viejos métodos de tejido.

El genio científico de China	4
por Robert K. G. Temple	
Los chinos, precursores de la ciencia y de la técnica modernas	7
por Joseph Needham	
INVENTOS Y HALLAZGOS DE UNA ANTIGUA CIVILIZACIÓN	
Observación de las manchas solares	9
El hierro fundido	10
La suspensión Cardán	11
Fabricación del acero	12
La noria de cangilones	13
La primera máquina cibernética	14
Los espejos mágicos	16
Arneses para los caballos	17
El estribo	18
El puente de arco rebajado	19
Perfeccionamiento del valor de <i>pi</i>	21
El sistema decimal	21
La porcelana	22
Las cerillas	23
Plaguicidas biológicos	24
El petróleo y el gas natural	25
El reloj mecánico	26
El papel moneda	28
La declinación del campo magnético terrestre	29
La carretilla	29
La laca	30
El primer canal topográfico de transporte	32
La inmunología	34

Textos © Editorial Debate, Madrid

Nuestra portada: Ilustración que muestra unas manchas solares tomada de un manuscrito de un emperador de la dinastía Ming, Zhu Gaoji (Xuanzong) titulado *Ensayo sobre los presagios astronómicos y meteorológicos* (1425). Al parecer la ilustración es de la mano del emperador mismo. (Ver también la pág. 9).

Foto © Biblioteca de la Universidad de Cambridge, R. U.

Portada posterior: "Un grupo de obreros se dedican a fundir mineral de hierro en presencia del Emperador de China". Detalle de una plancha de un álbum del siglo XIX conservado en la Biblioteca Nacional de París.

Foto Jean Loup Charmet © Archives Photob, Biblioteca Nacional, París

este número

Muchas de las cosas que el mundo moderno asume como algo poco menos que natural —desde el papel, los relojes mecánicos y la fabricación del acero hasta la porcelana, los arneses para los caballos y la extracción y utilización del petróleo y del gas natural— tienen su origen en China. Durante siglos esos y otros inventos y realizaciones propios del genio científico y técnico de los chinos permanecieron sumidos en el olvido o en la oscuridad de la ignorancia. Por fortuna, en los últimos años se ha empezado a tener una idea clara y precisa de esa formidable inventiva. Ello se debe en gran parte a uno de los esfuerzos intelectuales más notables del siglo : la vasta y original labor de investigación del Dr. Joseph Needham, de la Universidad de Cambridge (R.U.), que ha dedicado más de medio siglo a estudiar la historia de la ciencia y la tecnología chinas. Los resultados de las investigaciones de Needham, y de sus colegas del Needham Research Institute de Cambridge, están siendo publicados en una obra monumental, *Science and Civilisation in China* (Ciencia y civilización en China), que abarcará 25 volúmenes, de los que 15 han aparecido ya o están actualmente en prensa.

Con la autorización de Joseph Needham, un divulgador científico norteamericano, Robert K.G. Temple, ha escrito un libro titulado en inglés *China Land of Discovery and Invention*, cuya edición en castellano acaba de publicar la editorial madrileña Debate con el título de *El genio de China, cuna de los grandes descubrimientos de la humanidad* (Madrid, septiembre de 1987, 250 págs con numerosas ilustraciones en color y en blanco y negro, 2.500 pesetas). El propósito de la obra de Temple es hacer accesible al público en general la obra erudita de Needham, cosa que ha conseguido plenamente pues su libro se lee con suma facilidad y creciente interés y agrado. Todos los artículos incluidos en este número han sido tomados en forma resumida de la obra de Temple, gracias a la amable autorización que nos han dado sus editores españoles. El número comprende tres partes : una breve introducción en la que el divulgador norteamericano da noticia de la génesis y de la envergadura de la obra de Needham; un breve texto de éste sobre el problema de la actividad científica y tecnológica en el contexto social y económico de China y de Occidente; y una veintena de artículos sobre hallazgos e inventos chinos (en total el libro da cuenta de un centenar), la mayoría en forma resumida. Es de observar que hemos dejado de lado, por demasiado conocidos, ciertos inventos capitales de los chinos como la imprenta, el papel, la pólvora y la brújula, poniendo en cambio de relieve otros mucho menos conocidos, cuando no totalmente ignorados. Quizá este número, justo homenaje al genio científico de China, pueda ayudarnos a imaginar las sorpresas que ha de depararnos, cuando se escriba, la historia de la ciencia y la tecnología en otras grandes civilizaciones del mundo.

El genio científico de China

POR ROBERT K.G. TEMPLE

PROBABLEMENTE más de la mitad de los inventos y descubrimientos básicos sobre los que se apoya el “mundo moderno” son originarios de China. Y, sin embargo, pocas personas lo saben.

Si no se hubieran importado del gran país oriental perfeccionamientos de la náutica y la navegación como el timón de los barcos, la brújula y los mástiles múltiples, no se habrían llevado a cabo los grandes viajes europeos de descubrimiento. Colón no habría llegado a América ni los europeos establecido imperios coloniales.

Si no se hubiese importado de China el estribo, que permite mantenerse erguido a lomos del caballo, los caballeros no habrían cabalgado con sus brillantes armaduras para salvar a damiselas en apuros y no habría existido la época de la caballería. Y si no se hubiera traído de ese país la pistola y la pólvora, los caballeros no habrían sido derribados de sus caballos por las balas que atravesaban la armadura y que pusieron fin a aquella gloriosa época.

De no haberse importado de China el

papel y la imprenta, en Europa se habría seguido copiando los libros a mano durante mucho tiempo y no se habría extendido de tal modo la alfabetización.

Juan Gutenberg no inventó el tipo móvil. Lo inventaron los chinos (ver *El Correo de la Unesco* de julio de 1988). William Harvey no descubrió la circulación de la sangre en el cuerpo. La descubrieron —o más bien siempre creyeron en su existencia— los chinos. No fue Isaac Newton quien descubrió la primera ley del movimiento. La descubrieron los chinos.

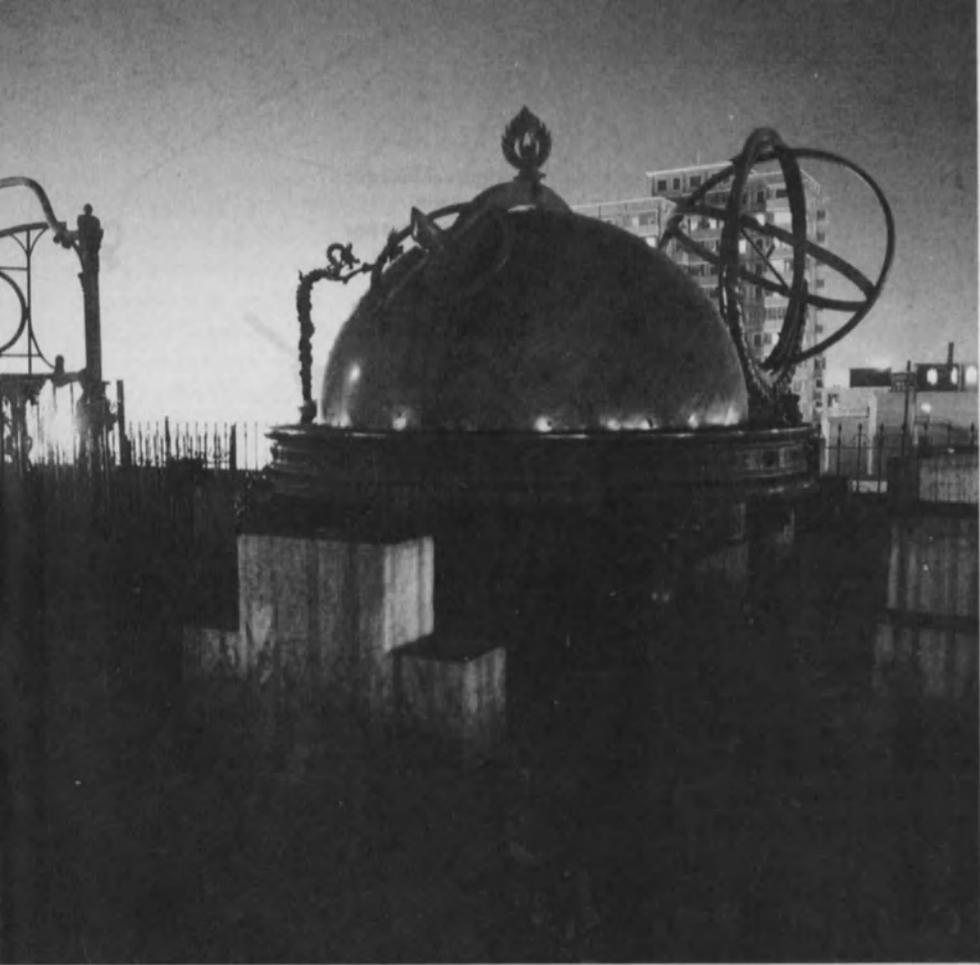
Estos y otros mitos se han venido abajo al constatarse recientemente que muchas de las cosas que nos rodean, a las que no damos mayor importancia, son originarias de China y que gran número de nuestros grandes inventos no son tales, sino simples préstamos... Esto significa que Oriente y Occidente no se encuentran tan distanciados ni en el espíritu ni en los hechos materiales como a muchos les inducen a creer las apariencias y que ambos están ya unidos en una síntesis tan vigorosa y tan



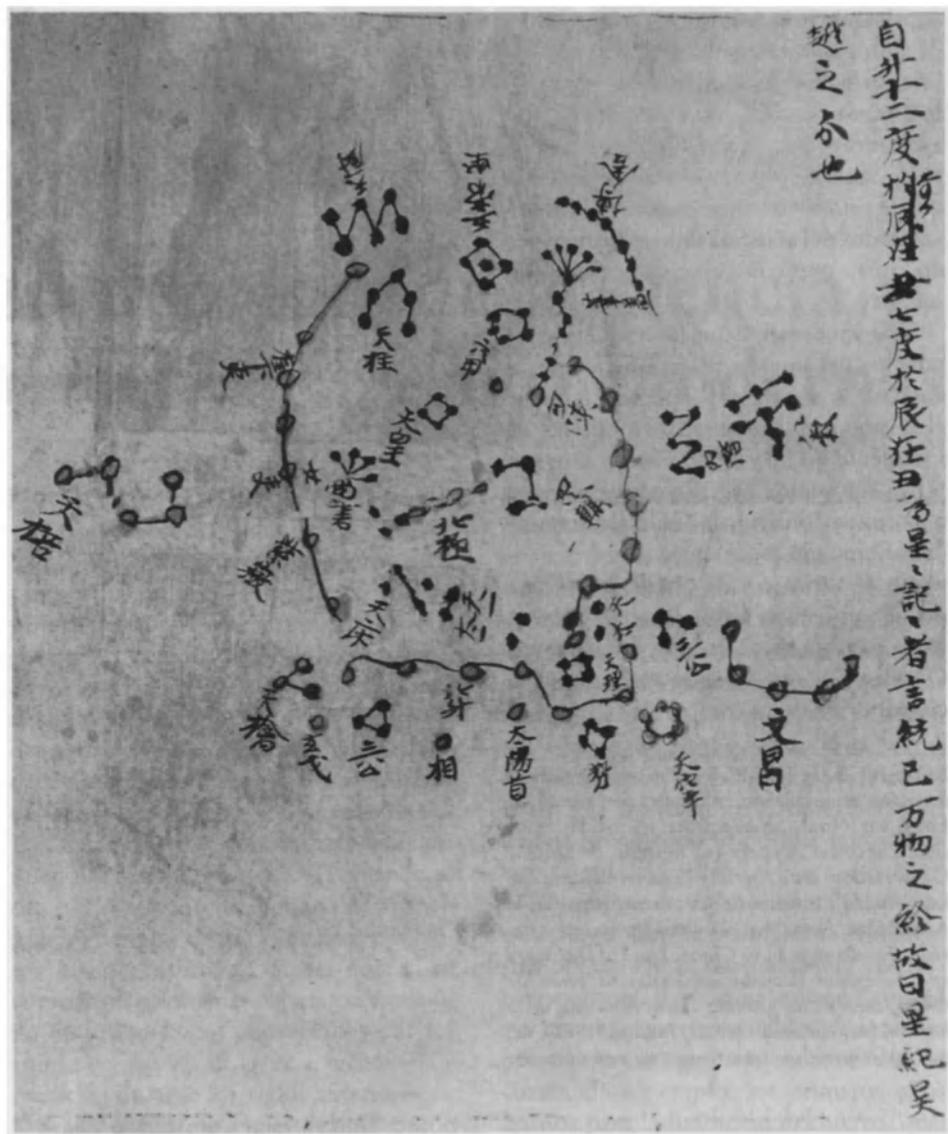
Detalle de un mapa estelar chino de hacia 940 d.C. En él se incluyen 1.350 estrellas. Se utilizan tres colores, el blanco, el negro y el amarillo, correspondientes a las tres antiguas escuelas de astronomía chinas.



Faenas de laboreo de la tierra bajo la dinastía Han (207 a.C.-220 d.C.). La roza intensiva y el cultivo en surcos nacieron en China en el siglo VI a.C. aproximadamente.



Estos instrumentos astronómicos se destacan a contraluz en el Observatorio de Pekín (Beijing), construido en el siglo XV. Beijing tuvo un observatorio astronómico desde la dinastía Qin (siglo III a.C.).



profunda que lo ha impregnado todo. En esta síntesis vivimos nuestra vida cotidiana, y no existe escapatoria posible. El mundo actual es una combinación de elementos orientales y occidentales que se hallan inextricablemente fundidos.

El descubrimiento de esta verdad es el resultado de una serie de sucesos en la vida de un ilustre estudioso inglés, el doctor Joseph Needham, autor de la magna obra *Science and Civilisation in China* (Ciencia y civilización en China). En 1937, a la edad de treinta y siete años, Needham era uno de los miembros más jóvenes de la Royal Society y un bioquímico muy conocido en Cambridge. Por esa fecha ya había publicado muchos libros, entre ellos una historia muy completa de la embriología. Un día conoció a unos estudiantes chinos y trabó amistad con ellos, especialmente con una joven de Nanking llamada Lu Guei-yen, cuyo padre le había transmitido sus conocimientos de inusitada profundidad sobre la historia de la ciencia china. Needham empezó a oír que los chinos habían sido los verdaderos descubridores de tal y tal cosa. Al principio no lo creyó, pero cuando estudió el asunto más detenidamente, las pruebas surgieron de una serie de textos chinos que sus nuevos amigos se apresuraron a traducirle.

Needham llegó a obsesionarse con el tema, según él mismo admite sin reparos. Como no sabía ni palabra de chino, se puso a aprender este idioma. En 1942 lo enviaron a China en calidad de asesor científico de la embajada británica en Chungking. Tuvo ocasión de viajar por todo el país, de aprender muy bien el idioma, de conocer a científicos en todos los lugares que visitó y de hacerse con una inmensa colección de valiosísimos libros antiguos de ciencia china. Después de la guerra, fue el primer Subdirector General de la Unesco para las Ciencias Naturales.

En una conferencia que dio en la Sociedad de China de Londres en julio de 1946, Needham afirmó: "Lo que de verdad se necesita es un buen libro de historia de la ciencia y la tecnología en China que tenga en cuenta la situación económica y social de la vida de ese país. El libro no debería tener un carácter académico, sino presen-



Las más antiguas anotaciones chinas que hayan llegado hasta nosotros son testimonios de adivinaciones escritos por incisión hace 3.000 años en “huesos de oráculo” (conchas de tortuga o homóplatos de animales). En algunos de los huesos de oráculo descubiertos en Anyang se han inscrito datos astronómicos y de calendario tales como nombres de estrellas y detalles sobre eclipses de sol y de luna. A la izquierda, dos de esos huesos de Anyang con inscripciones astronómicas.

tar un amplio panorama de la historia del pensamiento y las ideas”.

Nuestro autor, que ya había regresado a Cambridge, empezó a escribir —y aún sigue escribiendo— la obra misma que había planeado, con la única salvedad de que se trata de una obra perfectamente académica. En realidad, es mucho más fácil de leer de lo que parece, pero es una obra muy cara y son muchas las bibliotecas que no pueden adquirirla. No obstante, Needham no ha olvidado su idea inicial de realizar una obra “no académica”, y siempre ha deseado hacer su trabajo más accesible. De aquí que, cuando en 1984 le sugerí que yo podía escribir un libro de divulgación basado en la labor que él llevaba desarrollando cincuenta años, aceptó con una rapidez que me pareció incomprendible. Después entendí que era un proyecto que él acariciaba desde hacía tiempo, pero que pensaba no poder llevar ya a cabo.

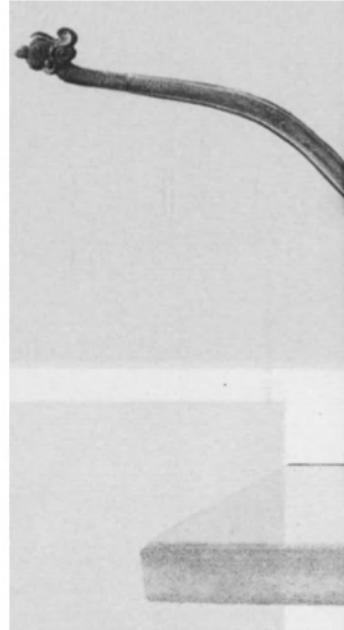
En la conferencia de 1946, tan profética respecto de sus actividades futuras, el doctor Needham declaró también: “Personalmente creo que todos los occidentales, todas las personas pertenecientes a la civilización euroamericana, se inclinan subconscientemente a congratularse de que fuesen Europa y su prolongación en las Américas las que desarrollaron la ciencia y la tecnología modernas. Del mismo modo, pienso que todos mis amigos asiáticos experimentan más o menos subconscientemente cierto malestar al respecto, pensando en que su civilización no supo desarrollar esa ciencia ni esa tecnología”.

Es necesario aclarar este asunto. Y no se me ocurre mejor ejemplo que el que nos ofrece la historia de la agricultura. Por sorprendente que parezca, no debemos olvidar ni un instante el hecho de que la revolución agrícola europea, que sentó las bases de la revolución industrial, tuvo lugar únicamente gracias a la importación de ideas e inventos chinos. El cultivo de cereales en hileras, la roza intensiva, la sem-

bradora “moderna”, el arado de hierro, la vertedera para remover la tierra cultivada y los arreos eficaces para los caballos fueron importados de China. Antes de que Europa trajese de este país las bridas y las colleras, los occidentales prácticamente asfixiaban a sus caballos con correas alrededor del cuello. Aunque la antigua Italia producía cereales en abundancia, no se podían transportar por tierra hasta Roma por falta de buenos arneses. Roma dependía del transporte marítimo desde países como Egipto. En cuanto a los métodos de siembra, es probable que se desperdiciara anualmente más de la mitad de las semillas de Europa hasta que los europeos descubrieron la idea china de la sembradora. En la historia europea, han sido millones los agricultores que se han destrozado la espalda arando con unos arados ridículamente primitivos, mientras los chinos llevaban dos mil años valiéndose de un método que requería relativamente poco esfuerzo.

Sería conveniente que las naciones y los pueblos del mundo se comprendieran y conocieran mejor, lo que permitiría salvar el abismo mental que separa a Oriente de Occidente. Al fin y al cabo, uno y otro son y han sido desde hace siglos socios en el negocio de construir la civilización mundial. El mundo tecnológico actual es producto de Oriente y de Occidente en una medida que nadie había imaginado hasta fecha reciente. Y ya es hora de que tanto Occidente como Oriente reconozcan la contribución de los chinos. □

ROBERT K.G. TEMPLE es un escritor norteamericano especializado en divulgación científica. Entre sus obras, ampliamente traducidas, cabe citar *The Sirius Mystery* (El misterio de Sirio) y *Conversations with Eternity* (Conversaciones con la eternidad), historia de las adivinaciones en la Antigüedad. Actualmente trabaja en una serie televisiva basada en su libro *China, Land of Discovery and Invention* (Edición española: *El genio de China, cuna de los grandes descubrimientos de la humanidad*, editorial Debate, Madrid, 1987), del que están tomados los artículos de este número



Los chinos,

POR JOSEPH NEEDHAM



A la izquierda, reproducción moderna de un "contador de *li*", instrumento utilizado durante la dinastía Tang (siglo VII) para medir la distancia. El contador estaba construido de manera que, al avanzar por un camino, una de sus dos figuras tocaba el tambor cada vez que se recorría un *li*, antigua unidad china de longitud equivalente a medio kilómetro.

según investigaciones recientes, se empezaron a construir en Escandinavia a finales del siglo VIII d.C., tienen una forma muy parecida a los que se utilizaban en China en el siglo anterior. Hasta el siglo XVII las brújulas magnéticas de astrólogos y topógrafos señalaban el sur, no el norte, como siempre había ocurrido con las brújulas chinas.

Sin embargo, existen muchos casos en los que aun no hemos podido detectar los canales por los que se transmitieron los conocimientos de Oriente a Occidente, no obstante lo cual hemos adoptado la razonable suposición de que cuanto mayor es el periodo transcurrido entre la aparición de un descubrimiento o invento en una parte del mundo y su aparición posterior en una parte alejada de ésta, menores son las probabilidades de que esa novedad fuera descubierta o inventada de una forma independiente.

Pero, una vez aceptado todo lo anterior, hemos de plantearnos una pregunta muy importante. Si los chinos estaban tan avanzados en la antigüedad y el medievo, ¿cómo es que la revolución científica, el inicio de la ciencia *moderna* en el mundo, sólo tuvo lugar en Europa?

Lo cierto es que el siglo XVII presenta diversos problemas. La revolución científica se produjo al mismo tiempo que la reforma protestante, la ascensión del capitalismo y el dominio de la burguesía. Los rasgos distintivos de la ciencia moderna, que se desarrolló en esa época, fueron la formulación matemática de hipótesis sobre la naturaleza y la experimentación continua. Las ciencias de los mundos antiguo y medieval estuvieron marcadas por un indeleble sello étnico, pero en el siglo XVII empezó a hablarse de la naturaleza en una lengua universal e internacional, en el idioma preciso y cuantitativo de las matemáticas, en un idioma que puede emplear y dominar tras el aprendizaje pertinente todo hombre y toda mujer, independientemente de su color, credo o raza. Y esto mismo es aplicable a la técnica de la experimentación.

precursores de la ciencia y de la técnica modernas

LA inventiva y la intuición extraordinarias de la China antigua y medieval en lo referente a la naturaleza plantea dos cuestiones fundamentales. En primer lugar, por qué se anticipó tanto el gran país oriental a otras civilizaciones y, en segundo lugar, por qué en la actualidad no lleva varios siglos de ventaja respecto del resto del mundo. Pensamos que ello se debe a que los sistemas social y económico de China y Occidente son muy distintos. La ciencia moderna empezó a desarrollarse en Europa en el siglo XVII, cuando se dio con el método más idóneo de investigación, pero los descubrimientos e inventos que se realizaron en esa época, así como posteriormente, se basaron a menudo en los adelantos conseguidos por los chinos en materia de ciencia, tecnología y medicina durante los siglos anteriores.

Según el filósofo inglés Francis Bacon

(1561-1626) fueron tres los inventos —el papel y el arte de imprimir, la pólvora y la brújula magnética— que contribuyeron a transformar el mundo moderno y a desligarlo de la antigüedad y el medievo en mayor medida que las convicciones religiosas, las influencias astrológicas o las hazañas de los conquistadores. A su juicio, los orígenes de estos inventos eran "oscuros y anónimos" y el sabio inglés murió sin saber que nacieron en China. Nosotros hemos hecho todo lo posible por aclarar este punto.

Naturalmente, los occidentales, dejándose llevar por el triunfalismo, intentan siempre reducir la enorme deuda que Europa contrajo con China en la antigüedad y el medievo, pero en muchas ocasiones las pruebas circunstanciales no admiten discusión. Por ejemplo, los primeros altos hornos para la fundición del hierro, que,

Los antiguos astrónomos chinos consideraban esta torre para medir la sombra solar en los solsticios de verano y de invierno como el centro del mundo. Un gnomon de unos 14 metros se elevaba verticalmente en el nicho central; su sombra era medida en la escala horizontal de 40 metros de longitud que se ve en primer término. Tal como hoy subsiste, la construcción data de la dinastía Ming (1368-1644), época en que se reconstruyó la torre primitiva erigida hacia el año 1276.



Cómo se entienda la causa primaria de tal fenómeno dependerá de la formación de cada cual; si se trata de un teólogo, pensará que el factor determinante fue la liberación que aportó la Reforma; si de un científico de la antigua escuela, lo normal será que piense que primero tuvo lugar el movimiento científico, el cual desencadenó todo lo demás; si se trata de un marxista, pensará con seguridad que la principal responsabilidad recae en los cambios económicos y sociales.

Un factor de gran importancia es la circunstancia innegable de que el feudalismo fue completamente distinto en China y en Europa. El feudalismo europeo tuvo un carácter aristocrático-militar. Los campesinos estaban bajo el dominio de los señores que vivían en sus feudos, y éstos a su

vez se hallaban sujetos a los barones, que vivían en castillos, mientras que el rey, desde su palacio, gobernaba a todos. En épocas de guerra, el monarca necesitaba la ayuda de los estamentos más bajos de la jerarquía feudal, que tenían la obligación de cederle un número determinado de hombres.

El feudalismo chino, calificado con razón de burocrático, fue muy distinto. Desde la época del primer emperador Qin Shih Huangdi (siglo III a.C.), las viejas casas feudales fueron atacadas y destruidas poco a poco, mientras el rey o emperador (rango que pronto pasó a ostentar el soberano) gobernaba con la ayuda de una burocracia gigantesca, un funcionariado de una amplitud y un grado de organización inconcebibles en los minúsculos reinos de

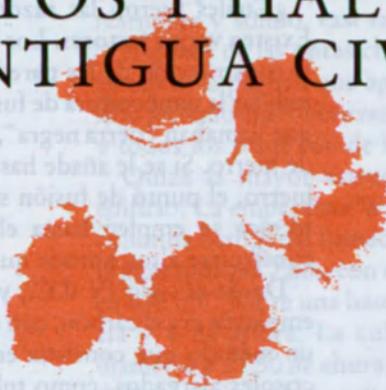
Europa. Las investigaciones que hoy se llevan a cabo están demostrando que la organización burocrática de China favoreció extraordinariamente en sus primeras etapas la expansión de la ciencia; por el contrario, en las últimas la retrasó, impidiendo el avance que en cambio iba a experimentar Europa. Por ejemplo, a principios del siglo VIII d.C. ningún otro país hubiera podido realizar la medición de un arco de meridiano de sur a norte de unos 4.025 kilómetros ni organizar una expedición destinada a observar las estrellas del hemisferio sur, aparte de que a nadie se le hubiera ocurrido semejante cosa.

Es posible que suceda algo semejante cuando se acopie y se escriba la historia de la ciencia, la tecnología y la medicina de las grandes culturas literarias clásicas, como las de la India o Sri Lanka. Europa participa de su herencia, produciendo una ciencia y una tecnología universales y ecuménicas válidas para todos los hombres y mujeres que habitan la Tierra. Es de esperar que los defectos de las tradiciones inconfundiblemente europeas en otros terrenos no corrompan las civilizaciones no europeas. Por ejemplo, las ciencias de China y el Islam jamás habían separado ciencia y ética, pero cuando con el advenimiento de la revolución científica quedó eliminada la causa final de Aristóteles y la ética fue expulsada de la ciencia, las cosas empezaron a ser muy diferentes y adquirieron un cariz mucho más amenazador. Esta circunstancia resultó beneficiosa por cuanto aclaraba y discriminaba las grandes manifestaciones de la experiencia humana, pero también muy perjudicial y peligrosa, pues abrió las puertas a los malvados capaces de emplear los grandes descubrimientos de la ciencia moderna en actividades de consecuencias catastróficas para la humanidad.

Es necesario vivir la ciencia junto a la religión, la filosofía, la historia y la experiencia estética; por sí sola puede producir grandes daños. Lo único que podemos hacer hoy día es confiar en que los poderes increíblemente peligrosos de las armas atómicas, que el desarrollo de la ciencia moderna ha puesto en manos de los hombres, continúen bajo el control de personas responsables, y en que un puñado de locos no deje en libertad unas energías capaces de destruir no sólo a la humanidad sino toda la vida sobre la Tierra. □

JOSEPH NEEDHAM, historiador británico de la ciencia y la tecnología chinas, es director del Needham Research Institute de Cambridge, Reino Unido. Durante más de cuarenta años se ha dedicado a elaborar una monumental historia en varios volúmenes titulada *Science and Civilization in China* (Ciencia y civilización en China), de la que es director y principal colaborador.

INVENTOS Y HALLAZGOS DE UNA ANTIGUA CIVILIZACIÓN



Observación de las manchas solares

La explicación que se daba en Occidente a la mayoría de las manchas solares observadas antes del siglo XVII era que se trataba de tránsitos del Sol por los planetas Mercurio y Venus. La teoría de la “perfección de los cielos” impedía admitir que hubiera imperfecciones en la superficie del Sol.

Los chinos no albergaban tales prejuicios sobre tal “perfección”. Como en muchas ocasiones las manchas solares son de tamaño suficiente para poder localizarlas a simple vista, los chinos naturalmente las veían. Al parecer, los testimonios más antiguos que se conservan de sus observaciones son ciertos comentarios de uno de los tres primeros astrónomos chinos de cuya existencia se tiene constancia, Kan Te, que vivió en el siglo IV a.C. y que, junto a dos coetáneos suyos, Shin Shen y Wu Hsien, confeccionó el primer gran catálogo estelar. Su obra puede compararse a la del griego Hiparco, pero se adelantó a éste en dos siglos.

La siguiente observación de una mancha solar data del año 165 a. C. En una enciclopedia de fecha muy posterior, *El océano de jade*, se nos dice que aquel año apareció en el Sol el carácter chino *wang*; se trataba, en efecto, de una mancha solar no redonda, sino en forma de cruz con una raya trazada en la parte superior y otra en la inferior. El astrónomo D.J. Shove la considera la primera mancha solar fechada con exactitud. Se empezaron a recoger las observaciones sobre las manchas solares en las voluminosas historias imperiales de China el 10 de mayo del año 28 a.C., pero las observaciones sistemáticas se iniciaron probablemente en el siglo IV a.C., como muy tarde, y si no contamos con datos más concretos se debe únicamente a que se han perdido muchos libros de la época.

En la actualidad, la mayoría de la gente cree que quien primero observó las manchas solares fue Galileo, del que también se piensa que inventó o al menos utilizó por primera vez el telescopio. Ninguna de las dos cosas es cierta. Lo más probable es que Galileo no inventara el telescopio, aunque sí lo dio a conocer y abogó valientemente por su aplicación al estudio del firmamento. En cuanto a la observación de las manchas solares, la referencia más antigua que se ha encontrado hasta el momento en Occidente pertenece a la obra titulada *Vida de Carlomagno*, de Einhard, fechada en el año 807 d.C.

En época posterior las observaciones de manchas solares en Occidente corrieron a cargo de los árabes Abu al-Fadl Ja'far ibn al-Muqtafi, en el 840 d.C., e Ibn Rushd (Averroes), alrededor de 1196, y de varios italianos en 1457, aproximadamente.

Needham ha hecho un recuento de las observaciones de manchas solares que aparecen en las historias oficiales chinas entre el 28 a.C. y el 1638 d.C., encontrando ciento doce ejemplos. Existen otros libros chinos que también recogen este tipo de observaciones en el transcurso de los siglos. Estos testimonios son las series continuas más antiguas y largas de tales estudios en todo el mundo. □

La redacción desea agradecer a los organizadores de la gran exposición sobre ciencia y tecnología chinas, « Chine Ciel et Terre, 5000 Ans d'Inventions et de Découvertes », la ayuda prestada para la preparación del presente número. La exposición que se presenta en Bruselas en los Musées Royaux d'Art et d'Histoire permanecerá abierta hasta el 16 de enero de 1989.

El hierro fundido

Los chinos conocían la técnica de los altos hornos para la fundición del hierro al menos desde el siglo IV a.C.

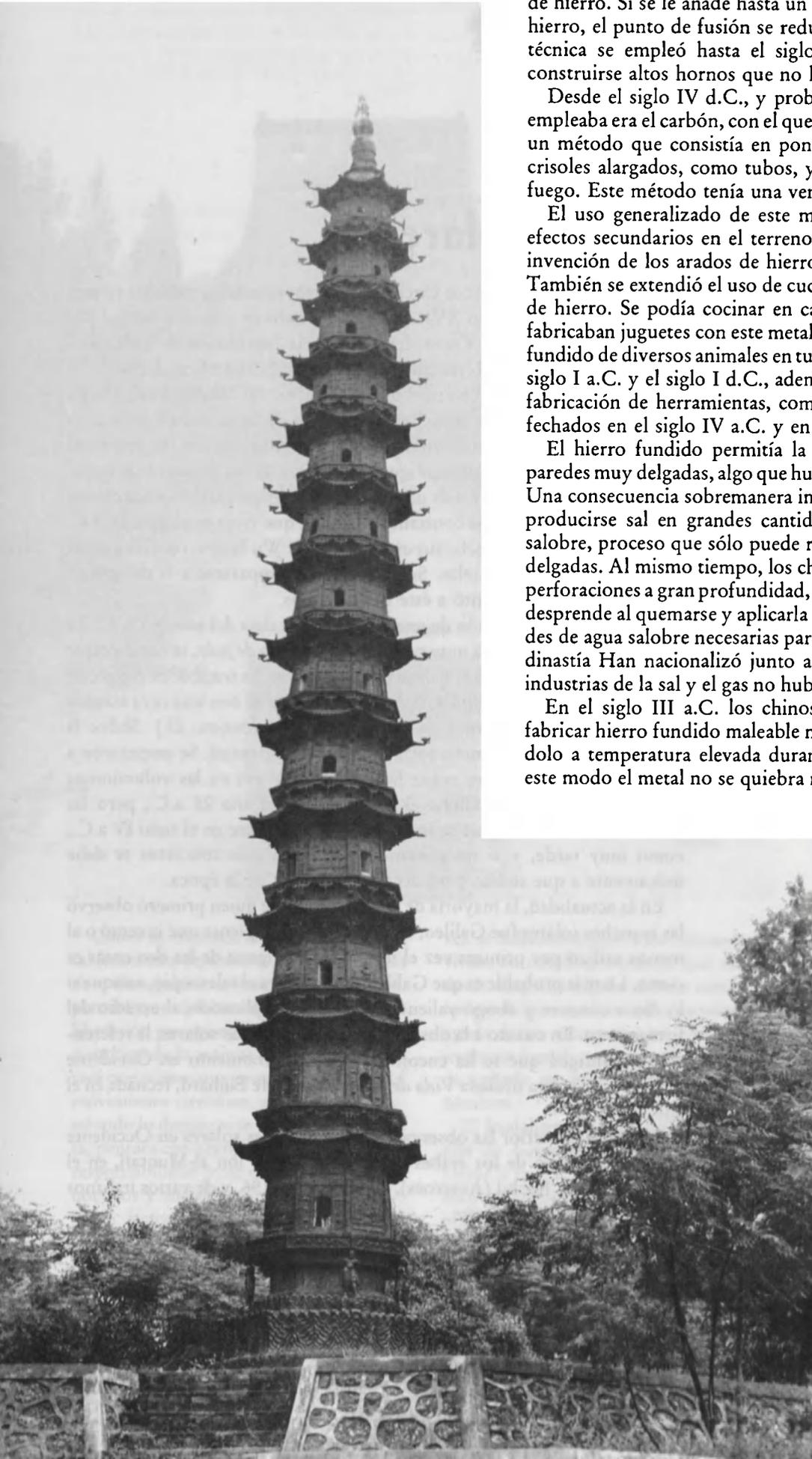
¿Cuáles fueron las razones de la superioridad china en ese terreno? Existen varios factores. Los chinos poseían buenas arcillas refractarias para la construcción de las paredes de los altos hornos y además sabían cómo reducir la temperatura de fusión del hierro. Para ello añadían una sustancia que llamaban “tierra negra”, que contenía un elevado porcentaje de fosfato de hierro. Si se le añade hasta un 6 por ciento de fósforo a una mezcla de hierro, el punto de fusión se reduce, pasando de 1130° C a 950° C. Esta técnica se empleó hasta el siglo VI d.C., fecha en que empezaron a construirse altos hornos que no la necesitaban.

Desde el siglo IV d.C., y probablemente antes, el combustible que se empleaba era el carbón, con el que se obtiene temperaturas elevadas. Había un método que consistía en poner el mineral de hierro en una serie de crisoles alargados, como tubos, y rodearlos de carbón al que se prendía fuego. Este método tenía una ventaja: eliminar el azufre.

El uso generalizado de este metal en la antigua China tuvo muchos efectos secundarios en el terreno de la agricultura. Así, contribuyó a la invención de los arados de hierro, además de las azadas y otros aperos. También se extendió el uso de cuchillos, hachas, escoplos, sierras y leznas de hierro. Se podía cocinar en cacerolas de hierro fundido e incluso se fabricaban juguetes con este metal. Se han encontrado estatuillas de hierro fundido de diversos animales en tumbas de la dinastía Han fechadas entre el siglo I a.C. y el siglo I d.C., además de moldes de hierro fundido para la fabricación de herramientas, como azadas y hachas de hierro o bronce, fechados en el siglo IV a.C. y en época posterior.

El hierro fundido permitía la fabricación de cacerolas y sartenes de paredes muy delgadas, algo que hubiera sido imposible con otra tecnología. Una consecuencia sobremedida del nuevo metal fue que pudo producirse sal en grandes cantidades mediante la evaporación de agua salobre, proceso que sólo puede realizarse en recipientes de paredes muy delgadas. Al mismo tiempo, los chinos explotaron el gas natural mediante perforaciones a gran profundidad, con el fin de obtener la energía que aquel desprende al quemarse y aplicarla a la evaporación de las enormes cantidades de agua salobre necesarias para la gigantesca industria de la sal (que la dinastía Han nacionalizó junto a la del hierro en el año 119 a.C.). Las industrias de la sal y el gas no hubieran existido sin la del hierro fundido.

En el siglo III a.C. los chinos descubrieron un procedimiento para fabricar hierro fundido maleable mediante el temple (es decir, manteniéndolo a temperatura elevada durante una semana aproximadamente). De este modo el metal no se quiebra ni se rompe al recibir un fuerte golpe, y



La pagoda de Yu Quan, en Dangyang (Hubei), de 13 metros de altura, fue construida exclusivamente con hierro fundido. Levantada en 1061, es la más antigua pagoda de ese material que se conserva en la actualidad.

objetos tales como los arados pueden tener una larga vida. El hierro fundido posee casi tanta elasticidad que el forjado, pero es mucho más resistente y sólido, casi tanto como el acero.

Algunas de las obras chinas de hierro fundido son impresionantes, por ejemplo, la pagoda que aparece en esta página. Este fantástico edificio ha sido fechado con toda exactitud en el año 1105. Tiene 24,5 metros de altura y todos los pisos son de hierro fundido.

Quizá la mayor estructura de hierro fundido no fue realmente un edificio. La emperatriz Wu Zetian ordenó también la construcción de una columna octogonal llamada “Eje Celestial conmemorativo de la Virtud de la gran dinastía Zhou con su miríada de regiones”. El monumento se erigió en 695 d.C. sobre una base de hierro fundido de 51 metros de circunferencia y 6 de altura. La columna propiamente dicha tenía 3,6 metros de diámetro y 31,50 de altura. En la cúspide había un “baldaquín de las nubes” de 3 metros de altura y 9 de circunferencia, coronado a su vez por cuatro dragones de bronce de unos 3,5 metros de altura sobre los que se apoyaba una perla sobredorada. Se conserva un testimonio escrito de la cantidad de metal que se utilizó en su construcción: unas 1.325 toneladas.

El mayor objeto individual de hierro fundido (naturalmente, las pagodas no eran de una sola pieza) fue erigido por orden del emperador Shizong de la dinastía Zhou para conmemorar su campaña contra los tártaros en 954 d.C. Esta pieza extraordinaria, de 6 metros de altura, sigue en pie en la provincia de Hebei y se la conoce con el nombre de Gran León de Zangzhou. No es maciza, pero el grosor de sus paredes varía de casi 4 centímetros hasta algo más de 20. □



Esta lámpara globular de cobre tibetana se halla suspendida de cuatro anillos ensamblados entre sí gracias a los cuales se mantiene siempre erguida.

La suspensión Cardán

La “suspensión Cardán” lleva este nombre en honor de Girolamo Cardano (1501-1576), pero él ni inventó el aparato ni se adjudicó su invención. Se limitó a descubrirlo en su popular libro titulado *De Subtilitate* (1550). El aparato apareció en Europa en el siglo IX d.C., pero lo inventaron en China como muy tarde en el siglo II a.C.

En él está basado el giróscopo moderno, al que deben su existencia la navegación y los “pilotos automáticos” de la aviación actual. Cualquiera que haya tenido la fortuna de entrar en un carromato de gitanos del siglo XIX habrá observado que en las paredes van sujetos unos aros de latón gracias a los cuales las lámparas se mantienen derechas aunque el vehículo sufra fuertes sacudidas. Estos anillos de latón entrelazados pueden moverse cuanto se quiera, pero la lámpara que va suspendida en el centro nunca se vuelca. Esta es la idea básica de la suspensión Cardán. Se ensamblan una serie de anillos que van unos dentro de otros unidos en dos puntos opuestos, lo que les permite girar libremente. De este modo, si en el centro se coloca erguido un objeto pesado, como, por ejemplo, una lámpara, mantendrá siempre la misma posición. Aunque los anillos que lo rodean se muevan, la lámpara permanecerá inmóvil. En el siglo XVIII los marinos chinos utilizaban una brújula montada mediante suspensión Cardán, pues la brújula magnética de un barco sujeta con este sistema no sufre las perturbaciones que producen las olas.

La referencia textual a la suspensión Cardán más antigua que se conoce se encuentra en un poema que lleva por título *Oda a las mujeres hermosas*, compuesto alrededor del año 140 a.C. Más de tres siglos después, en el 189 d.C. aproximadamente, se atribuyó a un inteligente mecánico llamado Ting Huan la invención de la suspensión Cardán.

La suspensión Cardán llegó a Europa 1100 años después. Al cabo de otros 800, el famoso científico Robert Hooke y otros adoptaron el principio de una forma nueva, aplicando fuerza desde el exterior en lugar de estabilizar un elemento central en el interior, lo que dio origen a la junta Cardán o universal, que a su vez desembocó en la transmisión de potencia automotora en los vehículos de motor actuales. □

Fabricación del acero

Los chinos fueron los primeros en producir hierro fundido y también lo fueron en fabricar acero a partir de este metal. En el siglo II a.C., como muy tarde, comenzó ya a ponerse en práctica esta técnica que en 1856 desembocó en la invención del proceso Bessemer. William Kelly, natural de un pueblecito cercano a Eddyville, en Kentucky, se anticipó a Bessemer en 1852. En 1845, Kelly llevó a Kentucky a dos expertos chinos que le enseñaron los principios de la producción de acero que se venían aplicando en China desde hacía más de 2.000 años, tras lo cual realizó ciertos descubrimientos por su cuenta.

El hierro, una vez fundido y transformado en lingotes, contiene cierto porcentaje de carbono, lo que determina que el metal sea hierro fundido o acero, según las características. El hierro fundido es quebradizo porque contiene una elevada proporción de carbono, quizá hasta un 4,5 por ciento. La “descarburación” consiste en eliminar parcial o totalmente este carbono. Si se elimina una gran cantidad, se obtiene acero; si se elimina casi todo, se consigue hierro forjado. Los chinos empleaban mucho este último material sobre todo en la construcción de puentes y acueductos grandes.

Los chinos inventaron el puente colgante y construyeron puentes con cadenas cuyos eslabones eran de hierro forjado y no de bambú trenzado. Al hierro fundido lo llamaban “hierro en bruto”, al acero “gran hierro” y al hierro forjado “hierro maduro”. Comprendían que para que el hierro “madurase” este metal tenía que perder un elemento fundamental, proceso que denominaban “pérdida de jugos vitales”, pero sin los conocimientos de la química moderna no podían saber que ese elemento era el carbono.

Los chinos no fueron los primeros en fabricar acero, pero sí los inventores de dos procesos de fabricación del mismo. El primero consistía en eliminar el carbono del hierro fundido. El proceso de “descarburación” se llevaba a cabo insuflando oxígeno en el hierro fundido (“oxigenación”). Los detalles aparecen en una obra clásica que lleva por título *Huainanzi*, fechada en el 120 a.C. aproximadamente. El segundo, el llamado proceso de “cofusión”, se explica más adelante en el “Proceso del acero Siemens”.

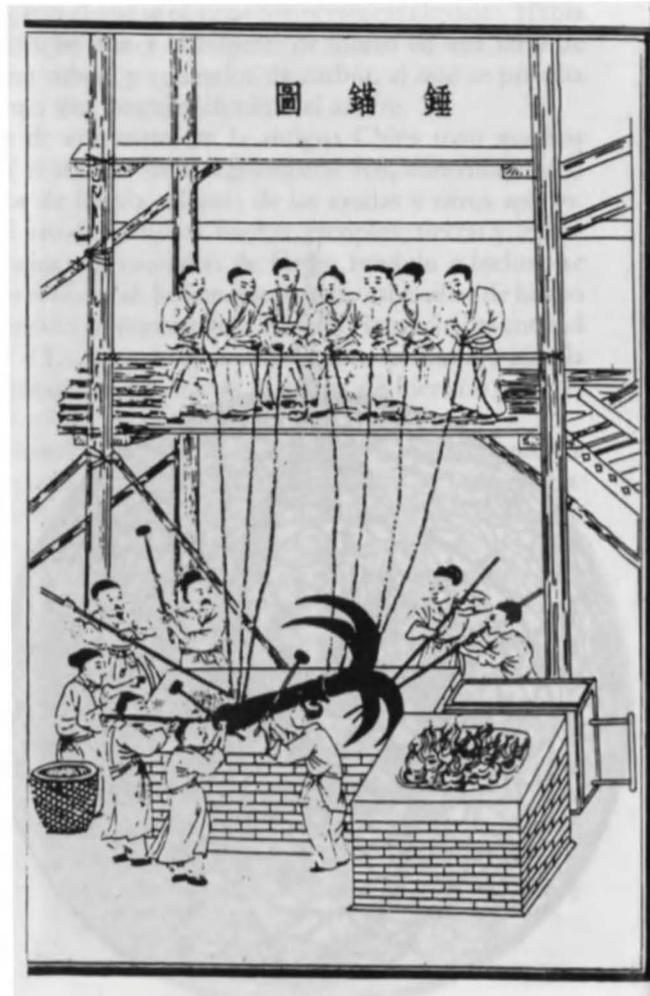
La fabricación de acero por este procedimiento se conocía también como “el método de las cien refinaciones”, pues en muchos casos el proceso se repetía una y otra vez, fortaleciéndose el acero en cada ocasión. Las espadas fabricadas con este sistema eran muy apreciadas. La parte posterior de la espada, al no tener filo, a veces se hacía de hierro forjado, que es más elástico, y se soldaba con acero, que es más duro, para confeccionar el borde afilado de los sables. El contenido de carbono del acero se regulaba según la cantidad de oxígeno que se aplicara al hierro fundido.

Por regla general, el acero con un porcentaje elevado de carbono es más fuerte, pero tiene el inconveniente de ser también más quebradizo. Los chinos sólo podían juzgar empíricamente de la calidad del acero obtenido tras un número determinado de refinaciones. Si lo que se quería era un acero muy blando, insuflaban más oxígeno y eliminaban un porcentaje mayor de carbono, aplicando una técnica extendida por todo el mundo que consiste en enfriar el acero rápidamente en un líquido cuando aún está incandescente para que conserve la microestructura metálica interna, que perdería si se dejara enfriar lentamente. Por otra parte, enfriar el acero lentamente tiene otras ventajas. Los chinos eran grandes maestros en el tratamiento de materiales de hierro en innumerables formas para obtener el tipo exacto de metal que necesitaban. En el terreno de la tecnología del hierro y del acero han ocupado el primer plano mundial hasta nuestros días.

En el siglo V d.C., aproximadamente, los chinos inventaron el proceso de “cofusión”, que consistía en unir hierro fundido y forjado para producir ese “punto intermedio” en que consiste el acero. En lo esencial, es el mismo proceso que el de Martin y Siemens de 1863, pero se puso en práctica 1.400 años antes.

En el siglo VI el procedimiento estaba ya muy difundido. De esa época se conserva una descripción china del mismo: “Qiu Huaiien también fabricaba sables de ‘hierro de la noche’. El método consistía en cocer hierro fundido muy puro y amontonarlo sobre lingotes blandos de hierro forjado, hasta que, pasados varios días y noches, se transformaba en acero”.

En 1637 Song Yingxing ofrecía detalles técnicos precisos: “El método de



En este grabado chino un grupo de obreros trabajan en la forja de un ancla que pesa varias toneladas, mientras otros trabajadores subidos en un andamio la sujetan y voltean con cadenas.

fabricación del acero es el siguiente. Se bate el hierro forjado en delgadas planchas de un dedo de ancho y algo más de 3,80 centímetros de largo. A continuación se introduce en láminas de hierro forjado que se someten a presión colocando encima trozos de hierro fundido. Después se cubre el horno con barro (o arcilla) y se ponen en funcionamiento fuelles de pistón de gran tamaño, y cuando el fuego alcanza la temperatura suficiente, primero se transforma [es decir, se derrite] el hierro fundido que, goteando y calando, penetra en el hierro forjado. Cuando ambos se unen, se saca el metal obtenido y se forja, después se vuelve a calentar y se martillea, proceso que se repite muchas veces”.

En nuestros días se han realizado diversos experimentos en las factorías de acero de Corby, Inglaterra, con el fin de reproducir las antiguas técnicas chinas de fabricación de este metal. Los resultados han sido excelentes: se ha obtenido un acero muy uniforme, con el carbono del hierro fundido repartido uniformemente y una verdadera mezcla de ambas clases de hierro. La temperatura se eleva a 975° C, se saca el metal y se forja a mano. A continuación se calienta durante ocho horas a 900° C. □

La noria de cangilones

Un invento chino de gran utilidad que se ha extendido por todo el mundo, de tal modo que ya nadie recuerda sus orígenes, es la noria de cangilones cuadrados, consistente en una cadena que gira indefinidamente con arcaduces cuadrados que se llenan de agua, tierra o arena.

El aparato puede elevar enormes cantidades de agua desde un nivel bajo hasta otro superior. El ángulo óptimo de inclinación al que se debe colocar la cadena de arcaduces es de unos 24°. De este modo, siempre que se encajen bien los arcaduces para evitar que se derrame el agua y siempre que la resistencia del aparato sea suficiente, una sola cadena puede elevar agua hasta una altura de unos cinco metros.

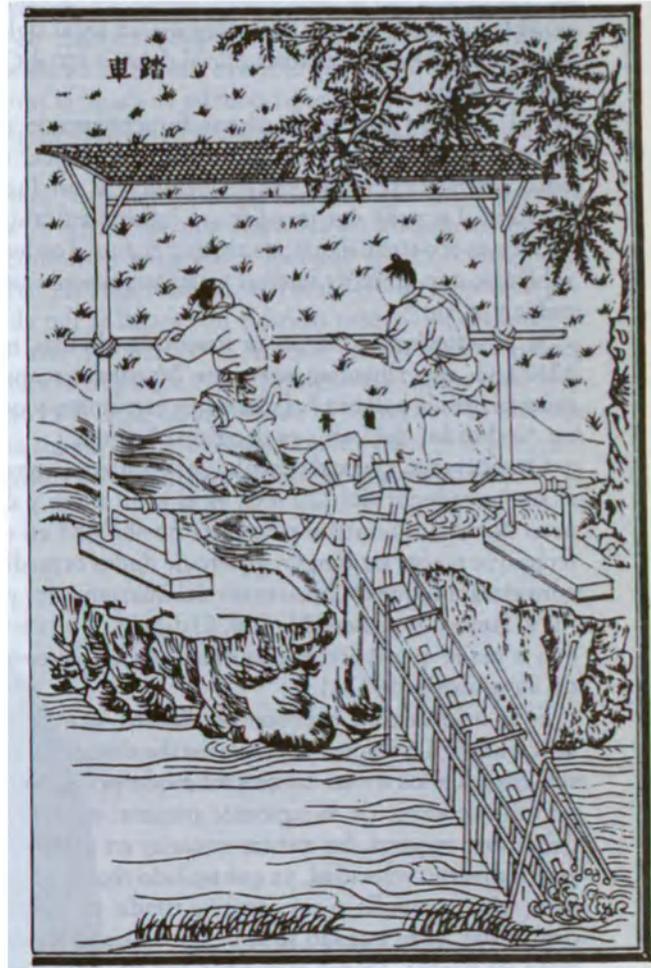
En la Edad Media los chinos empleaban este sistema para transportar tierra y arena más bien que agua; se lo puede considerar pues como la primera cinta transportadora.

No sabemos quién inventó la máquina, ni en qué fecha exactamente. Aunque es posible que ya existiera varios siglos antes, podemos suponer que se empezó a utilizar en el siglo I d.C. El filósofo Wang Chong la menciona en el año 80 d.C. en su libro *Discursos sopesados en la balanza*. En el transcurso del siguiente siglo se introdujeron numerosas mejoras en su diseño. Lo sabemos por un testimonio que recoge la historia imperial de la época, en que se habla de la falta de agua que padece la capital, Loyang. Según la historia oficial, el famoso eunuco y ministro Zhang Rang (que murió en el 189 d.C.) ordenó al ingeniero Bi Lan que realizara varias mejoras en Loyang.

“Después pidió a Bi Lan... que construyera norias y bombas de succión, que fueron instaladas en el extremo occidental del puente situado junto a la Puerta de la Paz, con el fin de que rociaran con agua las carreteras que cruzan la ciudad de norte a sur, evitando así los gastos que hacían las gentes del pueblo [al derramar agua en estas carreteras y llevarla a quienes vivían junto a ellas]...”.

En el año 828 estas norias ya habían adquirido una forma unificada en China. La historia imperial de aquel año dice lo siguiente: “En el segundo año del reinado de Taihe, en el segundo mes..., se creó un modelo unificado de noria y el emperador ordenó a los habitantes de Jungzhao Fu que construyeran estas máquinas en gran número con el fin de distribuir las por el canal de Cheng Pai para regar”.

Las norias se utilizaron en obras de ingeniería civil, en drenajes y también en la irrigación y el abastecimiento de agua potable. Sus resultados eran tan espectaculares que los dignatarios y embajadores de tierras vecinas que iban a China acabaron por adoptarlas en sus países respectivos. □



Este grabado en madera de 1637 representa a dos hombres moviendo con su pedaleo una noria de arcaduces utilizada para el riego.

La primera máquina cibernética

En el siglo III d.C. como muy tarde, los chinos disponían ya de una “máquina cibernética” basada en los principios de la realimentación que funcionaba perfectamente. Se la llamaba “carruaje que señala al sur”, pero no guardaba relación alguna con la brújula magnética. Se trata de un carro de casi 3,5 metros de longitud, otros tantos de altura y unos 3 de ancho coronado por una estatua de jade de un “inmortal”, un sabio que ha alcanzado la inmortalidad. La figura tenía un brazo levantado que señalaba adelante y miraba siempre hacia el sur, independientemente de la dirección en que se moviera el carro. Aun cuando la carretera fuera circular, la estatua de jade giraba y el dedo seguía señalando en la misma dirección. ¿Cómo es posible que se inventara una máquina así en el siglo III d.C., y probablemente antes? En una historia oficial del año 500 d.C. se incluye la siguiente descripción:

“El carruaje que señala al sur fue construido por el duque de Zhou [principios del primer milenio a.C.] para indicar el camino de regreso a unos embajadores que habían venido de un lugar muy alejado de la frontera. La zona era una llanura infinita en la que resultaba imposible distinguir el oeste del este; de ahí que el duque ordenara la construcción del vehículo, con el fin de que los viajeros pudieran saber dónde quedaban el norte y el sur”.

Si lo anterior es cierto, la invención de esta máquina se remonta al 1030 a.C. aproximadamente, pero Needham sospecha que unos escribas intercalaron la palabra “carruaje” en este relato y que lo que se describe es un “indicador del sur”, es decir una brújula.

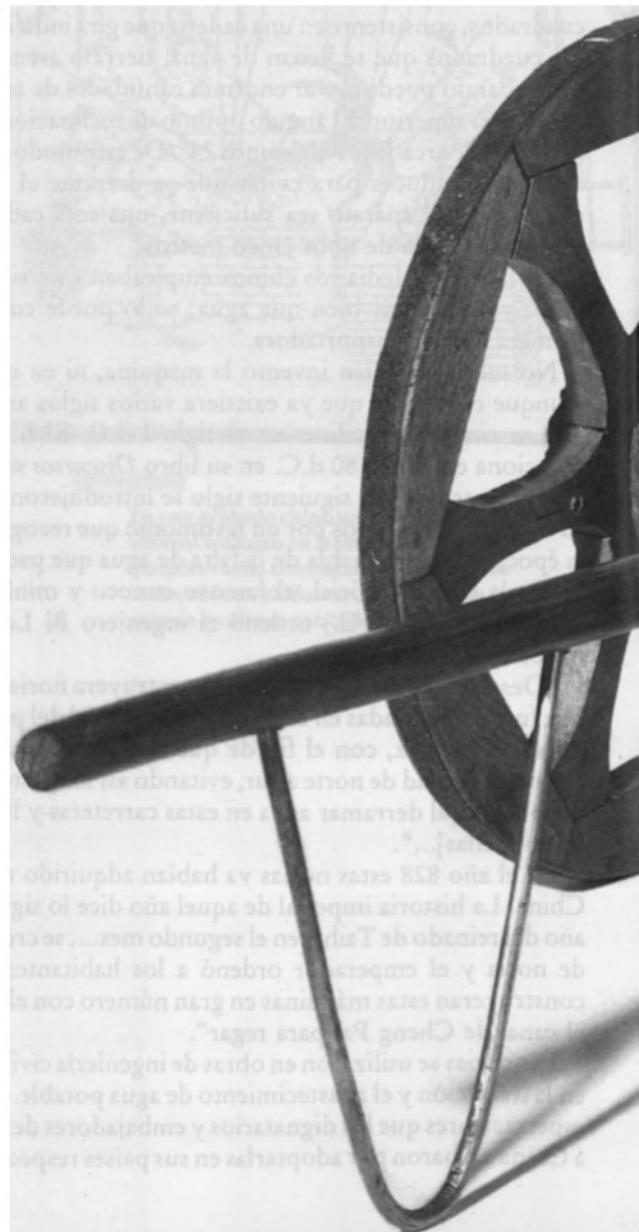
Otra persona a la cual se atribuye la construcción del “carruaje que señala al sur” alrededor del 120 d.C. es el astrónomo y científico Zhang Heng, pero Needham también pone esta posibilidad en tela de juicio. La única fecha que acepta sin ningún género de dudas es mediados del siglo III d.C., considerando que el constructor del instrumento, y por tanto su inventor, fue el famoso ingeniero Ma Jun. El dibujo de una estatua de jade señalando con la mano que aparece en la *Enciclopedia Universal* de 1601 fue copiado de un grabado de 1341.

Si la máquina en cuestión no llevaba una brújula magnética, ¿cómo funcionaba? La respuesta es que estaba dotada de un tren de diferenciales, semejantes a los de un automóvil moderno. La función de un diferencial podría explicarse de la siguiente manera: cuando un vehículo de ruedas dobla una esquina, las ruedas situadas en extremos opuestos tienen que girar a distinta velocidad, ya que un lado recorre una distancia menor que el otro. Una carretilla o un carruaje tirado por caballos no presenta estos problemas, pero cuando se aplica potencia al eje de un vehículo para que giren las ruedas, ¿cómo es posible que una rueda acelere un poco y que la otra reduzca la velocidad también un poco, estando en el mismo eje? Sencillamente, gracias a una ingeniosa combinación de ruedas dentadas y de volantes: el diferencial.

En 1965, cuando Needham publicó el volumen sobre la ingeniería mecánica en China, pensaba que los chinos habían inventado el diferencial y que lo habían aplicado por primera vez al “carruaje que señala al sur”. Si el primer aparato de este tipo es el que se atribuye al duque de Zhou alrededor del 1000 a.C., no cabe duda de que los chinos serían los inventores; pero más vale ser prudentes y suponer que el primer “carruaje que señala al sur” fue construido en los siglos II o III d.C., en cuyo caso habría que atribuir a los griegos la invención del diferencial, hecho que no se dio a conocer hasta 1975, cuando el profesor Derek Price publicó un libro titulado *Engranajes de los griegos*. En esta obra, Price explica las características de un diferencial griego fechado en el 80 a.C. que, a su juicio, “debe considerarse uno de los inventos más importantes de la mecánica de todos los tiempos”. Y aunque es posible que este mecanismo se transmitiera de Grecia y Roma a China, es igualmente probable que los chinos inventaran por su cuenta el diferencial para aplicarlo al “carruaje que señala al sur”.

La precisión necesaria para construir el “carruaje que señala al sur” es verdaderamente increíble. Como señala Needham, sólo para las ruedas exteriores, J. Coales en *The Historical and Scientific Background of Automation* (El trasfondo histórico y científico de la automación), “calcula

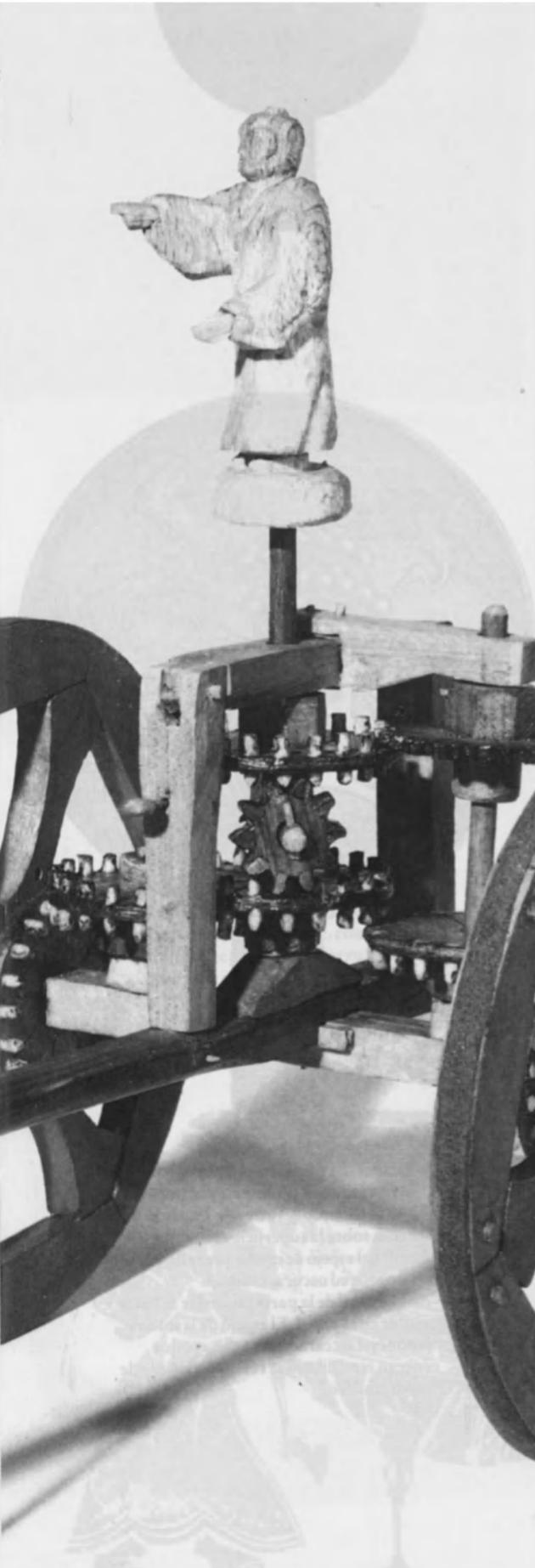
Reconstrucción del “carruaje que señala al sur” basada en una descripción que data del siglo III d.C. Gracias a su complicado sistema de orientación, la figura indica siempre el sur, cualquiera que sea la dirección hacia la que gira el carruaje.



que una diferencia de sólo el uno por ciento entre las circunferencias de las ruedas produciría un cambio de dirección de la estatua del 90 por 100 en una distancia sólo cincuenta veces superior a la existente entre las dos ruedas". Esto se debe a que el vehículo se desviaría cada vez más hacia un lado si una de las ruedas fuera más pequeña, motivo por el que el tamaño de las mismas tiene que ser exacto, con un margen de error inferior al uno por ciento, con una exactitud equivalente a la de las ruedas dentadas. Todo esto supone una ingeniería con tal grado de desarrollo que difícilmente podríamos aplicarle los calificativos de "antigua" y "primitiva".

Este aparato representa prácticamente el tipo opuesto del diferencial de los automóviles modernos. En la actualidad estos engranajes se emplean para aplicar potencia a las ruedas con el fin de que giren y el vehículo se mueva, pero en el caso del "carruaje que señala al sur", movido por animales, la potencia se transmite *desde* las ruedas y sirve para regular continuamente la posición de la estatua, es decir, que es el diferencial de la máquina lo que hace girar la figura de tal modo que siempre señale al sur, y su funcionamiento es igual al del diferencial de los vehículos actuales sólo en marcha atrás.

Needham ha dicho del "carruaje que señala al sur" que es "la primera máquina homeostática de la historia, con auténtica realimentación negativa. Naturalmente, el conductor tenía que ir incluido en el circuito, pero, como señala Coales, el conductor humano podría haber sido sustituido por una zanahoria sostenida por la figura con el brazo extendido, cerrando el circuito de un modo más automático". Aunque en diversas ocasiones Needham se ha referido a este aparato como la primera máquina cibernética, siempre ha matizado su afirmación añadiendo lo siguiente: "El carruaje que señala al sur habría sido la primera máquina cibernética si la dirección hubiera podido corregirse a sí misma, como ocurre en la actualidad". □



Los “espejos mágicos”

Quienes se complacen en pensar en China como una tierra misteriosa se sentirán encantados con los “espejos mágicos”, que se cuentan entre los objetos más extraños del mundo. Se sabe que su existencia se remonta al menos al siglo V d.C., aunque no se conocen con certeza sus orígenes exactos. Hace unos mil doscientos años apareció un libro titulado *Testimonio de espejos antiguos* que al parecer contenía los secretos de estos espejos mágicos y su construcción, pero, por desgracia, debió de perderse hace más de mil años.

En 1832, cuando en Occidente se tuvo noticia de estos objetos, docenas de científicos intentaron descubrir su secreto. Pasaron, empero, cien años hasta que se pudo formular una teoría satisfactoria sobre los espejos mágicos (tarea que realizó el cristalógrafo británico sir William Bragg en el año 1932).

¿Qué es exactamente un espejo mágico? Se trata de un espejo que, en la parte posterior, lleva dibujos en bronce fundido: adornos o caracteres de escritura, o ambas cosas. La parte reflectora es convexa, de bronce brillante y pulido, y sirve de espejo. En ciertas condiciones de iluminación, cuando se sujeta con la mano, parece un espejo completamente normal, pero cuando se expone a un sol brillante se puede “ver a través” de la superficie reflectora y contemplar en el reflejo proyectado en una pared oscura los caracteres o dibujos de la parte posterior. Misteriosamente, el bronce macizo se hace transparente, hecho del que deriva el nombre que los chinos dan a este objeto: “espejos en los que penetra la luz”.

Pero el bronce macizo no es transparente, objetará el lector. Es cierto, y sin duda existe algún truco, pero tan bueno que, durante un siglo, confundió a los científicos occidentales e incluso el primer libro chino sobre el tema que se conserva consiste en una especulación sobre su posible funcionamiento. Se trata de una obra fascinante, *Ensayos del estanque de los sueños* de Shen Gua, publicada en el año 1086. Aun en época tan temprana, Shen Gua pensaba que los espejos databan de un periodo arcaico: “Existen ciertos ‘espejos en los que penetra la luz’ que llevan unos veinte caracteres inscritos en ellos en un estilo muy antiguo que no sabemos interpretar. Si se expone al Sol uno de estos espejos, aunque los caracteres están en la parte posterior, lo ‘atravesan’ y se reflejan en la pared de una casa, en la que pueden leerse claramente... En mi propia familia hay tres de estos ‘espejos en los que penetra la luz’, y he visto más en otras familias; que los guardan como un gran tesoro. Son muy parecidos y muy antiguos, y todos ellos ‘dejan pasar la luz’. Pero no comprendo por qué otros espejos ‘no dejan pasar la luz’, aun siendo sumamente finos. Sin duda, los antiguos debían poseer un arte muy especial... Quienes intentan descubrir la razón dicen que cuando se construyó el espejo se enfrió primero la parte más delgada, mientras que la parte de atrás, al ser más gruesa, se enfrió después, de modo que en el bronce se formaron arrugas diminutas. Por eso, aunque los caracteres se encuentran en la parte de atrás, la delantera tiene unas líneas tan tenues que no se aprecian a simple vista”.

Aunque las diferencias en la velocidad de enfriamiento no constituyen una explicación válida, Shen Gua estaba en lo cierto al pensar que la superficie brillante y pulimentada del espejo ocultaba variaciones muy pequeñas que no se podían observar a simple vista. Needham dice lo siguiente a propósito de los experimentos realizados por científicos europeos: “Una experimentación óptica cuidadosa ha demostrado que la



Arriba, la superficie reflectora pulimentada y la parte posterior ornamentada de un “espejo mágico” de bronce. Cuando se proyecta una luz intensa sobre la superficie reflectora y se orienta el espejo de modo que refleje la luz en una pared oscura, el dibujo ornamental de la parte posterior se hace visible en la pared. El espejo de la foto es japonés. Los caracteres *takasago* que entran en el dibujo se refieren al título de un drama *No*.

superficie de los 'espejos mágicos' reproducía los dibujos de la parte posterior a consecuencia de desigualdades muy pequeñas de curvatura, pues las partes más gruesas eran ligeramente más planas que las delgadas, a veces incluso cóncavas”.

La forma básica del espejo, con el dibujo en la cara posterior, se hacía plana, y la convexidad se fabricaba después raspando y rascando meticulosamente. A continuación se pulía la superficie hasta que quedaba brillante. Como resultado de las presiones ejercidas en el transcurso de estos procesos, las zonas más delgadas de la superficie formaban protuberancias y se volvían más convexas que las zonas más gruesas. Por último, se extendía una amalgama de mercurio sobre la superficie, lo que producía más presiones y abolladuras. De este modo, las imperfecciones de la superficie del espejo se correspondían con los dibujos de la cara posterior, pero eran tan minúsculas que no podían apreciarse a simple vista. Cuando el espejo reflejaba la brillante luz del sol sobre una pared, produciendo el consiguiente aumento de toda la imagen, se conseguía el efecto de reproducir los dibujos *como si* atravesaran el cobre macizo por medio de los rayos de luz. Como dijo sir William Bragg en el año 1932, cuando por fin desveló el misterio: “Solamente el efecto de aumento del reflejo los hace planos”. Con gran acierto, Needham considera estos objetos como “el primer paso en el camino hacia el conocimiento de la minúscula estructura de las superficies metálicas”. □

Arneses para los caballos

Hasta el siglo VIII d.C., los únicos arneses que se conocían en Occidente eran el “arnés de collar y cincha”, método absurdo, pues el animal se ahogaba en cuanto hacía el menor esfuerzo. Mientras el hombre se vio obligado a utilizar este tipo de arnés, el transporte con carro tirado por caballos fue casi imposible, e incluso cuando se galopaba a lomos de un solo caballo, el animal podía acabar medio estrangulado.

A quienes conozcan la historia de la antigua Roma les sorprenderá la importancia que se atribuía al transporte marítimo de cereales desde Egipto. Sin estos productos egipcios, Roma hubiera muerto de hambre, pero ¿por qué? ¿Qué ocurría con los cereales que se cultivaban en Italia?

Este estampado de la dinastía Han (h. el siglo I a.C.) representa un caballo provisto de arnés de tirante, con la correa al pecho, que arrastra un carruaje cuyos pasajeros se protegen de la lluvia con un precursor del paraguas.



¿Por qué dependía Roma de los barcos egipcios para sobrevivir? La respuesta es sencillamente que, al no existir buenos arneses para las caballerías, no podían transportarse hasta Roma los cereales italianos.

En el siglo IV a.C., aproximadamente, los chinos hicieron un descubrimiento. En una caja laqueada de la época se ha encontrado un dibujo que representa un yugo colocado en el pecho de un caballo, con unas correas que lo unen a las varas de un carro. Al poco tiempo también se abandonó el yugo rígido y se lo sustituyó por una tira de cuero, sistema conocido normalmente como “arnés de tirante”. El caballo no llevaba una correa alrededor del cuello, y el peso de la carga descansaba sobre el pecho y las clavículas.

Se han realizado experimentos para comprobar la eficacia relativa de los diferentes tipos de arneses. Dos caballos con arnés de collar y cincha pueden llevar un peso de media tonelada, pero un solo caballo con arnés de collera (véase más adelante) puede llevar fácilmente una tonelada y media. Con un arnés de tirantes el rendimiento es sólo ligeramente menor.

Needham señala dos factores que podrían haber contribuido a que los chinos inventasen el arnés de tirante. En primer lugar, los chinos, mongoles y hunos que vivían junto al desierto de Gobi se quedaban continuamente atascados en la arena, de la que no podían sacarlos los caballos con arnés de collar y cincha. En segundo lugar, también se empleaban seres humanos para arrastrar vehículos, y gracias a su propia experiencia, tirando de una barca corriente arriba, por ejemplo, el hombre sabía que atarse una cuerda alrededor del cuello no resulta muy útil.

El arnés más eficaz es el de collera. Los primeros indicios de la existencia de arneses de este tipo en China pueden verse en una impresión obtenida de un ladrillo antiguo que representa los arneses de tres caballos que tiran de un carro y que data de entre los siglos IV y I a.C. Por tanto, es de suponer que el arnés de collera fue inventado en China en el siglo I a.C. como muy tarde, es decir mil años antes de que apareciera en Europa.

Al cabo de cierto tiempo, los chinos descubrieron que la collera podía utilizarse de otra manera más sencilla: colocando unas correas que la uniesen al vehículo. Esta es la modalidad que se emplea actualmente en todo el mundo. □

El estribo

Aunque el hombre monta a caballo desde hace muchos siglos, durante largo tiempo careció de soporte para los pies. La mayoría de los grandes ejércitos de la antigüedad, persas, medas, romanos, asirios, egipcios, babilonios y griegos, no conocían el estribo. Los jinetes del ejército de Alejandro Magno atravesaron el Asia central sin poder apoyar los pies mientras cabalgaban; tenían que sujetarse con fuerza a las crines del caballo para no caerse. Los romanos idearon una especie de asa en la parte delantera de la silla que les proporcionaba cierta estabilidad sobre el terreno difícil; pero cuando no apretaban las piernas contra los costados de la montura, las llevaban colgando.

Tampoco era fácil subir al caballo sin estribos. Los guerreros se enorgullecían de los saltos que daban para montar, sujetando las crines con la mano izquierda y balanceándose hasta quedar a lomos del animal, sistema que utilizan en la actualidad los jinetes que montan a pelo. Los soldados de caballería de la antigüedad se apoyaban en la lanza para izarse, usándola a modo de pértiga, o pisando una clavija que sobresalía de la misma. En otro caso, tenía que ayudarles un mozo.

Pero en el siglo III d.C. los chinos pusieron remedio a esta situación. Gracias a su avanzada industria metalúrgica empezaron a fabricar estribos de hierro o bronce fundido. No ha quedado constancia de quién fue el inventor, y es probable que la idea original surgiera de un lazo de cuerda o cuero ocasionalmente utilizado para subir a lomos del caballo. Natural-





Caballo de porcelana de la época de la dinastía Tang (618-907 d.C.) enjaezado con sus estribos y demás arneses.



Bocado de bronce chino del siglo V a.C.

mente estos lazos no servían para cabalgar, porque si el jinete se caía, el caballo lo arrastraba. Los primeros que emplearon esos lazos fueron probablemente los chinos, los indios o los nómadas del Asia central fronteriza con China; quiere decirse que el estribo debió de aparecer en las estepas, producto del ingenio de unos hombres que pasaban su vida a caballo. Créese que los chinos empezaron a fabricar estribos de metal perfectos en el siglo III. La representación más antigua que se conserva de uno de estos objetos corresponde a una figura de cerámica de un jinete encontrada en una tumba de Changsha (Hunan) y fechada en el 302 d.C.

La transmisión del estribo a Occidente coincidió con las migraciones de una tribu llamada de los Ruan-Ruan, más conocidos en Occidente con el nombre de ávaros, palabra turca que, al parecer, significa “exiliados”. La caballería de esta tribu resultaba realmente devastadora porque empleaba estribos de hierro fundido. A mediados del siglo VI aproximadamente, los ávaros fueron expulsados hacia Occidente y atravesaron el sur de Rusia, asentándose por último entre el Danubio y el Tisza. En el año 560 representaban una grave amenaza para el Imperio Bizantino, que tuvo que reorganizar por completo su caballería para atacarlos. En el año 580, el emperador Mauricio Tiberio confeccionó un manual militar, el *Strategikon*, en el que especificaba las técnicas de caballería que había que adoptar. En esta obra se habla, por primera vez en la literatura europea, de la necesidad de utilizar estribos de hierro.

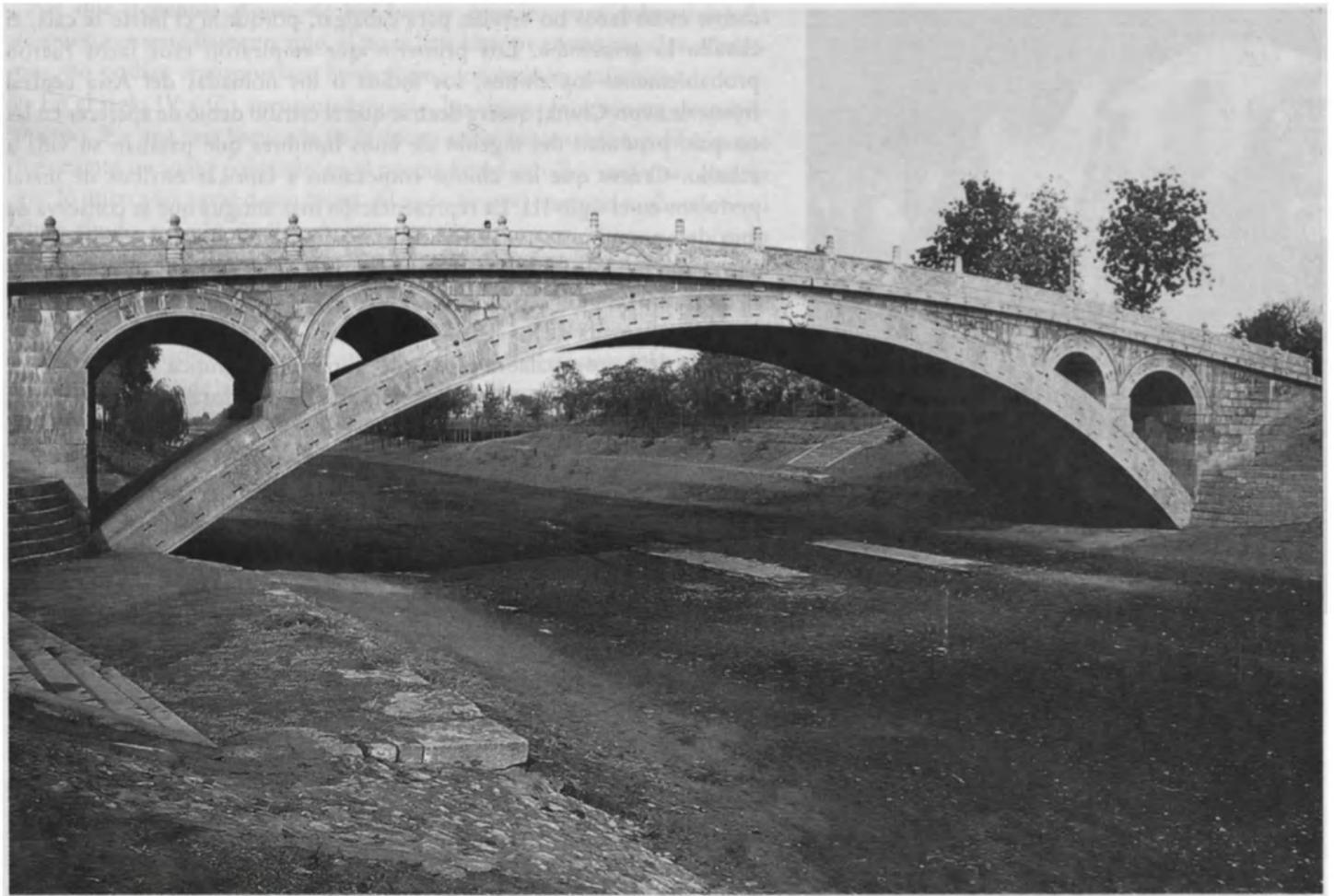
Los vikingos y posiblemente también los longobardos difundieron el estribo por el resto de Europa. En Londres se ha encontrado un estribo para niño al estilo de los ávaros, que quizás llegara hasta allí por mediación de algún miembro de aquel pueblo nórdico. Pero aparte de los bizantinos y los vikingos, los demás pueblos europeos tardaron mucho tiempo en utilizar el valioso instrumento, por razones que aún no han sido esclarecidas por completo. Supónese que los ejércitos tradicionales de Europa no lo adoptaron hasta principios del medievo. Quizás la inexistencia de una industria metalúrgica eficaz constituyera un gran obstáculo, por lo que durante largo tiempo hubo que fabricar los estribos con hierro forjado no fundido; sólo pudieron producirse a escala industrial cuando se empezó a emplear el metal fundido. □

El puente de arco rebajado

Un avance conceptual decisivo se consiguió cuando un ingeniero chino cayó en la cuenta de que un arco no tiene que ser necesariamente un semicírculo. Podían construirse puentes basados no en el arco semicircular tradicional, sino en lo que se denomina arco rebajado. Para hacernos una idea de la cosa, imaginemos un círculo gigantesco empotrado en el suelo, del que sólo asoma la parte superior por encima de la superficie. Esta porción es un segmento de círculo, y el arco que forma es un arco rebajado. Los puentes construidos con este sistema necesitan menos materiales y son más resistentes que los que se construyen con arcos semicirculares.

Este avance, como decimos, tuvo lugar en China, en el siglo VII d.C. La idea se le ocurrió a un genio, Li Chun, fundador de una escuela de ingeniería cuya influencia iba a prolongarse durante muchos años. Por suerte, el primer gran puente construido con este método, en 610, se conserva intacto y sigue utilizándose en la actualidad. Conocido con el nombre de Gran Puente de Piedra, se alza sobre el río Jiao, cerca de Zhaoxian, al pie de los montes Shanxi, en el extremo de la llanura de China septentrional.

Los cuatro pequeños arcos se incorporaron a la estructura del puente principal. Representaban una innovación que había de tener consecuencias muy importantes en la construcción de puentes, pues ellos fueron los primeros tímpanos abovedados. Li Chun descubrió que practicando estas aberturas en los extremos del puente obtenía varias cosas a la vez: las riadas



El Gran Puente de Piedra que cruza el río Jiao, en el norte de China. Construido en el año 610 d.C., fue reconstruido en el siglo XX y sigue aun utilizándose. Las juntas de mampostería entre las piedras están reforzadas con abrazaderas de hierro.



podían pasar por ellas reduciendo la posibilidad de que los soportes del puente principal se desmoronaran como consecuencia de una avenida repentina, se disminuía además el peso total del puente, con lo cual disminuía la tendencia de éste a combarse al hundirse los extremos en las orillas del río, y se ahorraba una enorme cantidad de materiales que normalmente tendrían que haberse empleado en la construcción de los extremos sólidos del puente.

El Gran Puente de Piedra tiene un tramo de 37,5 metros. El mayor puente de arco romano que se conserva completo, el puente de San Martín, cerca de Aosta, mide 35,5 metros, pero, por término medio, el puente de arco romano medía entre 18 y 24 metros, mientras que los arcos de los acueductos romanos tenían un tramo medio de unos 6 metros.

El mayor puente de arco rebajado de China es el famoso "Puente de Marco Polo", que el célebre viajero describió con detalle. Se encuentra al oeste de Pekín (Beijing), y es visitado por numerosos turistas. Cruza el río Yungding en la pequeña ciudad de Lugougiao, tiene una longitud de 213 metros y está formado por once arcos rebajados que atraviesan el río con un tramo medio de 19 metros. Fue construido en 1189 y en la actualidad siguen pasando por él numerosos camiones y autobuses. Marco Polo consideraba este puente "el mejor del mundo". □

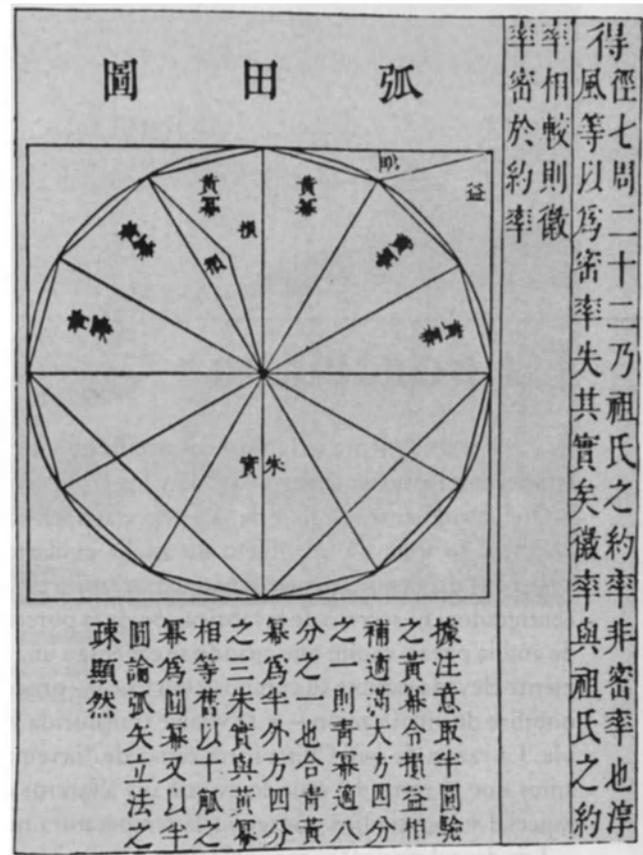
Perfeccionamiento del valor de π

El número irracional π , que puede calcularse con un número infinito de decimales, expresa la relación de la circunferencia de un círculo con su diámetro, relación que no puede enmarcarse en el campo de los números enteros. (π es necesario para calcular el área de un círculo o el volumen de una esfera). Arquímedes calculó el valor de este número con tres decimales y Tolomeo con cuatro, pero posteriormente, y durante 1.450 años, no se alcanzó mayor exactitud en el mundo occidental. Sin embargo, los chinos realizaron grandes avances en el cálculo de π .

Uno de los métodos seguidos en la antigüedad para calcular lo más exactamente posible el valor de π consistía en inscribir polígonos con un número cada vez mayor de lados en un círculo de modo que la superficie de los polígonos (que podía calcularse) se aproximaba cada vez más a la del círculo. De este modo intentaban dar con el valor de π , ya que el área del círculo se hallaba utilizando la fórmula que le contenía. Medían el diámetro e inscribían en el círculo un polígono cuya superficie conocían; el único número desconocido era π , que podía calcularse a continuación. Arquímedes se valió de un polígono de 96 lados, llegando a la conclusión de que el valor de π se situaba entre 3,140 y 3,142.

Los chinos emplearon el mismo método, pero con más fortuna. En el siglo III d.C., Liu Hui empezó por inscribir en un círculo un polígono de 192 lados y continuó hasta poder inscribir uno de 3.072. De este modo logró calcular el valor de π en 3,14159. Llegados a este punto, los chinos habían superado ya a los griegos.

Pero el salto definitivo tuvo lugar en el siglo V d.C., momento en el que aparecieron en China valores de π verdaderamente avanzados. Por medio de cálculos que se han perdido, los matemáticos Zu Chongzhi y Zu Gengzhi (padre e hijo) obtuvieron un valor "exacto" de π con diez decimales, el número 3,1415929203. Se sabe que el círculo en que inscribieron los polígonos tenía un diámetro de algo más de 3 metros. Este valor de π ha quedado recogido en testimonios de la época, pero las obras de los mencionados matemáticos se han perdido con el transcurso de los siglos. Novecientos años después, en el 1300 d.C. aproximadamente, el matemático Zao Yuguí acometió la tarea de comprobar el valor de π . Para ello inscribió en un círculo una serie de polígonos con nada menos que 16.384 lados, confirmando el valor que le había atribuido la familia Zu. □



Dibujo que explica el método de aproximaciones sucesivas empleado por el matemático chino Liu Hui en el año 264 d.C. para determinar el valor del número irracional π .

El sistema decimal

El sistema decimal, que hoy es fundamental para la ciencia moderna, nació en China. Hay pruebas de su utilización ya en el siglo XIV a.C., el periodo arcaico conocido como dinastía Shang, pero podemos afirmar que se empleaba desde mucho tiempo antes.

Tenemos un ejemplo de las aplicaciones del sistema decimal en la antigua China en una inscripción fechada en el siglo XIII a.C., en la que "547 días" está escrito de la siguiente forma: "Cinco cientos, más cuatro décadas, más siete días".

Para calcular, los chinos se servían de tableros con unas varillas. Si querían "escribir" diez tenían que colocar una sola varilla en el segundo compartimento de la derecha y dejar el primero vacío representando el cero. Para pasar de diez a once, se añadía una varilla al primer compartimento, y para representar 111 se colocaba una varilla en el primero, segundo y tercer compartimento.

El hecho de que se utilizara el sistema decimal desde los comienzos mismos de las matemáticas proporcionaba a los chinos una ventaja sustancial, que sentó las bases de la mayoría de los avances posteriores. Los occidentales carecían de ella.

El primer testimonio escrito de la utilización de decimales en Europa se encuentra en un manuscrito español del año 976 d.C., es decir, que es aproximadamente 2.300 años posterior al primer testimonio escrito chino. □

Esta fuente de barro de estilo *yue*, con vidriado verde pálido, es una de las porcelanas más antiguas que se conocen (siglo III).



La porcelana

La cerámica corriente se fabrica con arcilla que se cuece en un horno a una temperatura que oscila entre los 500 y los 1.150 grados centígrados; esto es lo que suele llamarse alfarería. La porcelana, en cambio, es algo bastante distinto: se trata de un objeto de arcilla cubierta por un barniz o una sustancia vítrea que se cuece a una temperatura elevada, unos 1.280 grados centígrados. El secreto de la fabricación de la porcelana radica en el empleo de arcilla pura o caolín que cuando se calienta a una temperatura suficientemente elevada cambia su composición física —proceso que se conoce con el nombre de vitrificación— y se vuelve translúcida y totalmente impermeable. La razón de que China fuera capaz de “inventar” la porcelana mucho antes que el resto del mundo es que sus alfareros disponían de esa arcilla especial y que podían conseguir la temperatura necesaria para fundirla.

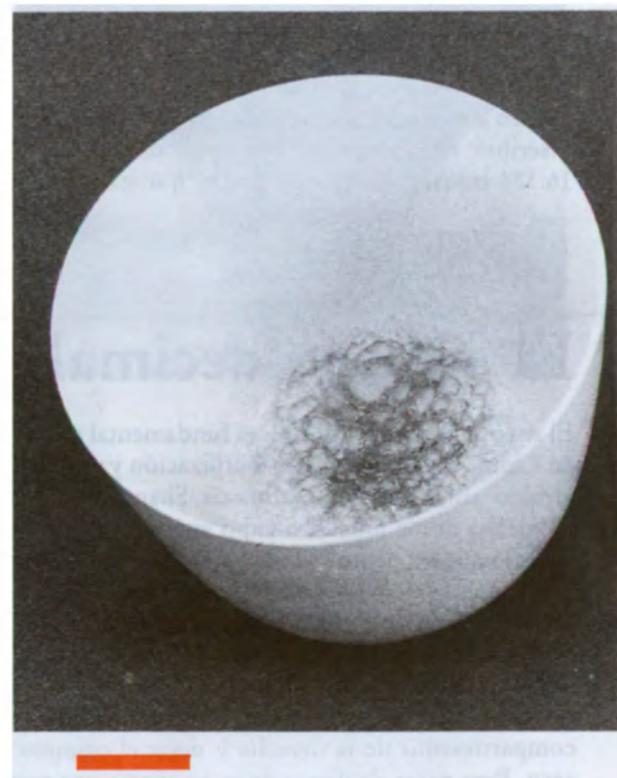
Los descubrimientos arqueológicos más recientes parecen indicar que la aparición de la porcelana remonta al siglo I d.C. y no cabe duda de que en el siglo III de nuestra era ya estaba muy extendida.

Durante el reinado de la dinastía Song (960-1279 d.C.) la porcelana alcanzó un grado máximo de perfección. En aquella época, su fabricación estaba muy organizada y empleaba a cientos de miles de personas. Había grupos de hombres que se especializaban en lavar la arcilla, otros que se ocupaban del vidriado, otros que se encargaban de los hornos, y así sucesivamente. Un horno de la época, con cabida para veinticinco mil piezas en una sola hornada, había sido construido en la ladera de una colina, con una leve pendiente de unos 15° que permitía reducir la velocidad de las llamas que atravesaban el horno. Bajo la dinastía Ming (1368-1644 d.C.), época en que se fabricaba la famosa porcelana blanca y azul, la mejor calidad del pigmento azul cobalto sólo podía obtenerse a determinadas temperaturas y con llamas no oxidantes.

Las técnicas de la fabricación de la porcelana se mantenían en absoluto secreto, y lo único que podían hacer los viajeros europeos como Marco Polo era maravillarse ante semejante prodigio. En el siglo XV los objetos de porcelana eran aún una rareza en Europa que se utilizaba para hacer regalos a reyes y potentados. Hasta 1520 no llegó a Europa una muestra de arcilla de caolín, enviada por los portugueses. Pero los europeos no comprendieron que el hecho de disponer de arcilla de caolín no era condición suficiente para fabricar la preciada materia.

Los innumerables experimentos que se llevaron a cabo con diversas clases de tierra y sustancias sólidas cocidas en hornos tuvieron unos resultados variables. Hasta que científicos y artesanos empezaron a observar que, al volver a enfriarse, los minerales fundidos podían vitrificarse. A mediados del siglo XVIII empezó a ganar terreno la idea de que las rocas de la tierra se debieron formar al enfriarse las masas fundidas de lava.

En Europa, la porcelana alcanzó su completo desarrollo en ese el mismo siglo, unos 1.700 años después de que la inventaran los chinos. Las anteriores “porcelanas” europeas no eran en realidad tales, pues se derretían si se las sometía a las temperaturas a que las cocían los chinos. □



Cubilete de porcelana blanca de la época Tang (618-907) cuyo espeso esmalte está finamente grieteado.



Horno de porcelana tradicional
(pintura china de fines del siglo XVIII).

Las cerillas

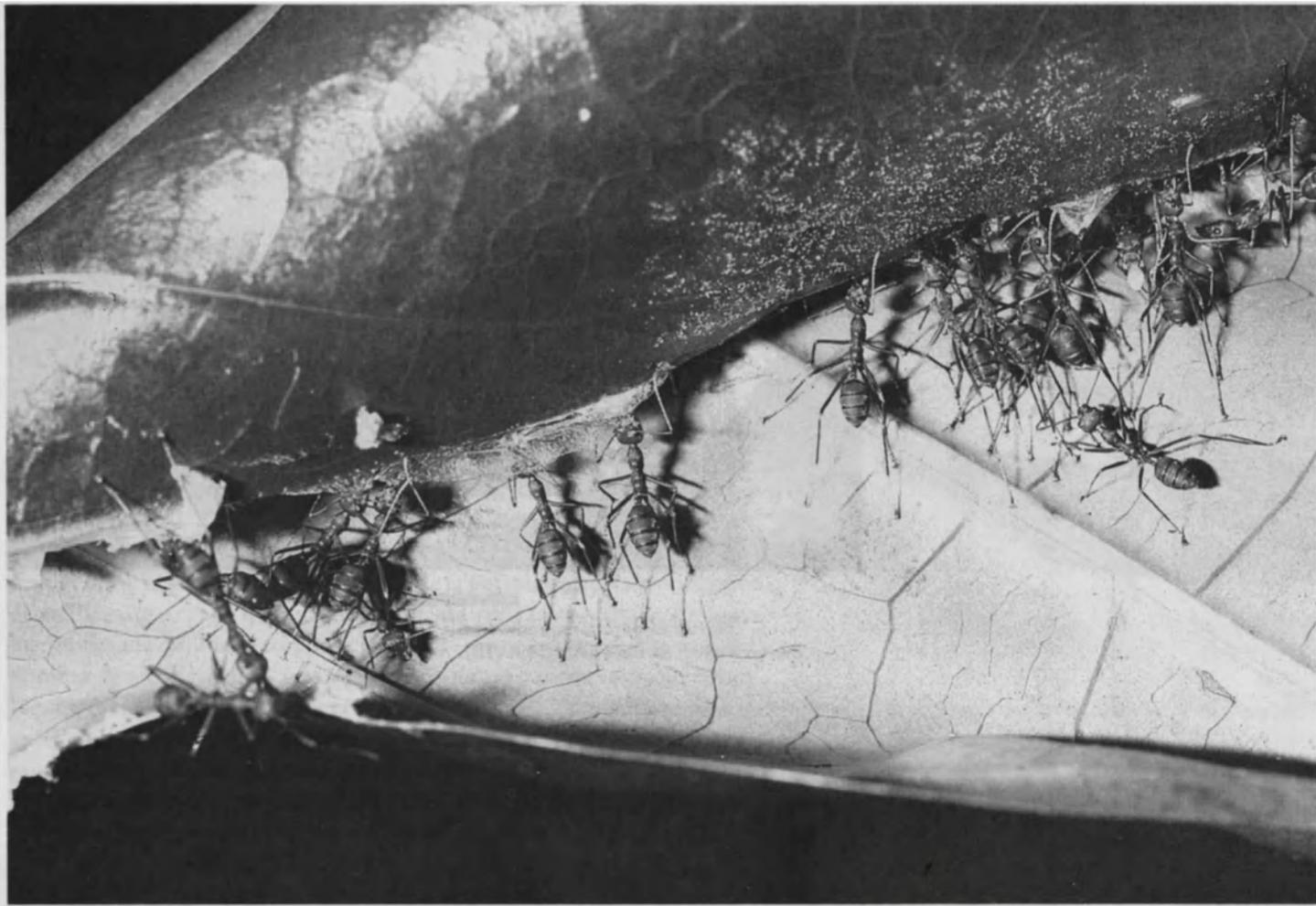
Cada vez que encendemos una cerilla utilizamos un invento chino. La primera versión de la cerilla fue idea de un grupo de damas de la corte imperial que padecían escasez de recursos durante un asedio militar que tuvo lugar en el año 577 d.C. en el efímero reino chino del Qi septentrional. La leña debía de ser tan escasa, a causa del asedio, que apenas podían encender fuego para cocinar y calentar las casas.

Al principio, las cerillas se fabricaban con azufre. En un libro titulado *Testimonios de lo irreal y lo extraño* escrito por Tao Gu en 950 aproximadamente, encontramos la siguiente descripción: “Cuando ocurre un accidente por la noche, a veces se tarda un buen rato en preparar fuego para encender una lámpara. Pero un hombre ingenioso ideó un sistema que consiste en impregnar de azufre palitos de madera de pino. Al mínimo contacto con el fuego salta una llamita como un grano de maíz. Este objeto prodigioso se llamaba antiguamente ‘esclavo que trae el fuego’, pero más adelante, cuando empezó a venderse en el mercado, se cambió este nombre por el de ‘palo de fuego de una pulgada’”. No se han encontrado pruebas de la existencia de cerillas en Europa antes del año 1530. Es muy probable que las trajera uno de los viajeros europeos que fueron a China en la época de Marco Polo, ya que sabemos con certeza que en el año 1270 se vendían en los mercados callejeros de Hangzhou. □



Pintura de fines del siglo XVIII que
representa a un niño vendiendo en la calle
pebetes y cerillas.

Plaguicidas biológicos



Los chinos combaten las plagas de insectos por medios biológicos, utilizando ciertos insectos para destruir a otros, desde hace 1.700 años, mientras que en Occidente se empezó a emplear este sistema en el presente siglo. Quizás el hallazgo más importante y sorprendente de los chinos en este terreno sea la utilización de las hormigas amarillas del cidro para proteger los mandarinos. En un texto del año 304 d.C. escrito por Hsi Han que lleva por título *Relación de plantas y árboles de las regiones meridionales*, aparece la siguiente descripción del empleo de las hormigas carnívoras:

“La mandarina es un tipo de naranja con un sabor excepcionalmente dulce y delicioso... Los habitantes de Jiaoshi (Tonkín) venden en el mercado hormigas [carnívoras] en bolsas de juncos trenzados. Los nidos son como seda. Las bolsas van unidas a ramas y hojas y las venden junto a las hormigas que están dentro de los nidos. Estos animales tienen un color rojizoamarillento y son mayores que las hormigas comunes. En lugar de comerse las naranjas, atacan y matan a los insectos que sí las devoran. En el sur, si no pusieran este tipo de hormigas en los mandarinos, los frutos sufrirían daños a causa de innumerables insectos perjudiciales y no quedaría ni uno solo en buenas condiciones”.

Los occidentales se enteraron de la existencia de este sistema de lucha biológica contra las plagas cuando se publicó un trabajo sobre el tema en el *North China Herald* del 4 de abril de 1882, obra de H. C. McCook; pero pocas personas le prestaron atención.

En la primera década del presente siglo se produjo un grave estallido de cancro en las plantaciones de cidro de Florida, y fue sólo entonces, en 1915 concretamente, cuando el Departamento de Agricultura de Estados Unidos envió a un botánico a China con la misión de buscar naranjas resistentes a esta enfermedad y descubrió las hormigas del cidro. En 1958 un científico chino llamado Chen Shou-jian recomendó que se reanudaran las investigaciones sobre las hormigas y el sistema se sigue empleando en China en la actualidad. □

Estas hormigas carnívoras las vienen utilizando los chinos desde hace 1.700 años como plaguicida biológico para proteger los mandarinos de los depredadores.

El petróleo y el gas natural

En China, el petróleo y el gas natural se emplearon como combustible y como fuente de luz ya a partir del siglo IV a.C. Los profundos pozos que se perforaban para extraer salmuera también daban gas natural de vez en cuando. Normalmente, estos depósitos de gas metano aparecían debajo del agua salobre, pero muchas perforaciones, incluso las que se practicaban especialmente para obtener salmuera, sólo daban gas natural, y los chinos las conocían justamente con el nombre de “pozos de fuego”. Ya en el siglo I a.C. se realizaban prospecciones sistemáticas para extraer salmuera, de modo que desde esa fecha podía obtenerse gas natural, cuyos depósitos se encontraban a gran profundidad, gracias a los pozos que descendían a varias decenas de metros; existen testimonios de la búsqueda sistemática de gas natural mediante perforaciones a gran profundidad fechados en el siglo II a.C.

Chang Qu decía lo siguiente en su libro *Testimonios de la región al sur del monte Hua*, del año 347: “En la zona en que el río que viene de Bupu se une con el río Huojing hay pozos de fuego; por la noche, el resplandor se refleja en el cielo. Cuando los habitantes de esa región quieren encender fuego, prenden las salidas del gas con tizones de los hogares de sus casas; al poco tiempo se oye un ruido como el retumbar del trueno y las llamas adquieren tal brillantez que iluminan toda la zona, a varias docenas de *li* (varios kilómetros) a la redonda. También emplean tubos de bambú para ‘encerrar la luz’, conservándola de tal modo que pueden trasladarse de un lugar a otro, incluso a un día entero de viaje desde el pozo, sin que se extinga. Este fuego no deja cenizas y la luz que da es muy brillante”.

Los oleoductos de bambú transportaban agua salobre y gas natural a muchos kilómetros de distancia, y en ocasiones pasaban por debajo de los caminos o por encima de los puentes.

El encendido y la utilización del gas natural para producir luz y calor planteaban ciertos problemas que los antiguos chinos resolvieron satisfactoriamente. En textos antiguos encontramos descripciones detalladas de las complicadas medidas que se tomaban para controlar el funcionamiento del gas natural. En primer lugar, el producto que se obtenía de los “pozos de fuego” se introducía en una gran cámara de madera situada a unos 3 metros por debajo del suelo y en forma de tonel cónico en la que se introducía aire con un tubería subterránea. De este modo, la cámara actuaba como un gran carburador que daba a unas tuberías que a su vez desembocaban en otras cámaras cónicas más pequeñas, apoyadas en el suelo. También éstas recibían aire, y estaban provistas de diversas tuberías de entrada que podían abrirse o cerrarse, de modo que se podía regular la “máquina” manipulando continuamente la mezcla de combustible y aire. Si disminuía la presión de la mezcla, podían producirse explosiones peligrosas por lo que en tal caso debía abrirse aún más la cámara principal. En cambio, si la mezcla era demasiado fuerte, podían producirse incendios, lo que obligaba a dejar que el gas sobrante escapara por un sistema de vaciado que se llamaba “tubería de impulsión hacia el cielo”.

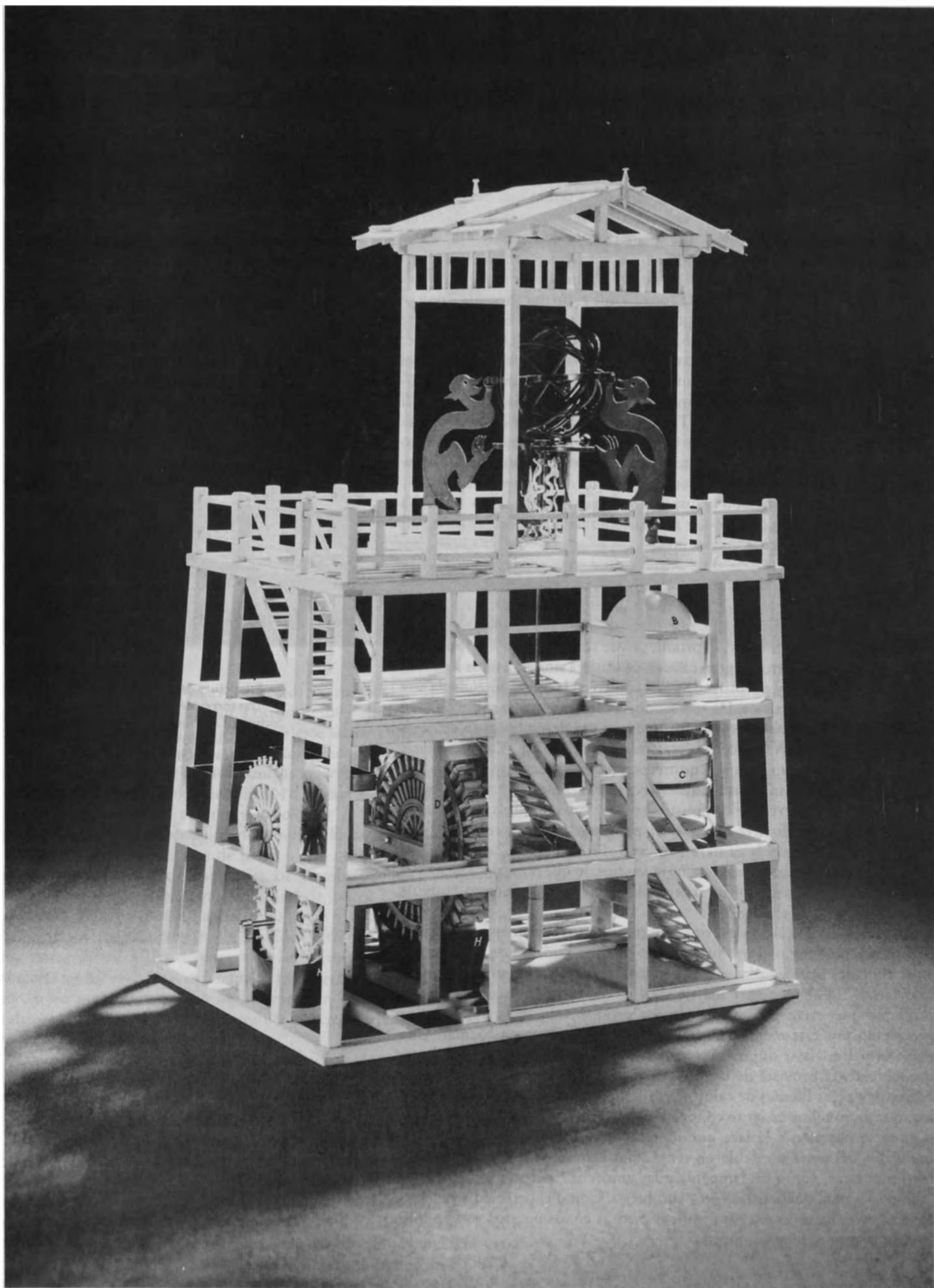
Las llamas de una altura inferior a 50 centímetros tenían otras aplicaciones, como, por ejemplo, producir luz en algunas ciudades de Sichuán. En estas ciudades privilegiadas el gas también se aplicaba a la producción de calor pero no se conocen los detalles de su utilización. Parece poco probable que existieran estufas de gas propiamente dichas, y el calor producido por este método se empleaba seguramente para cocinar. Una persona podía viajar durante un par de días y abrir la bombona del gas, probablemente provista de una espita, y cocinar los alimentos.

Existían otras fuentes de calor portátiles, como los derivados del petróleo, que en muchos casos se conocían con el nombre de “laca de piedra”, porque se parecían a la laca que rezuma de las piedras. Los productos derivados del petróleo debieron tener unas aplicaciones domésticas más bien modestas, como las lámparas y las antorchas, pero se utilizaban en gran escala para quebrar las rocas con fuego. Como el petróleo arde en el agua, a veces se utilizaba para romper piedras en los puertos vertiéndolo sobre ellas y prendiéndole fuego. □



Estructura de un pozo petrolífero con otras torres al fondo, en la provincia de Sichuán. En primer término aparecen las tradicionales tuberías de bambú para conducir el gas natural hasta las ciudades.

El reloj mecánico



Reconstrucción de la “máquina cósmica”, el gran reloj astronómico construido por Su Song en 1092. El armazón al descubierto permite ver el mecanismo; la torre alberga en su parte superior una esfera armilar para observar la posición de las estrellas. En el centro, a la derecha, se ve el globo celeste (B) que gira sincronizado con la esfera. El elemento central (D, detalle abajo) es el escape, una noria que el agua o el mercurio del depósito, al caer, hacía girar en el sentido de las manecillas de un reloj.



Los chinos no fueron los inventores del reloj, sino los que inventaron el reloj mecánico. Ya existían, desde la época babilónica, los de agua, y los chinos los tomaron indirectamente de esta antigua civilización de Oriente Medio, como también adoptaron de ella ciertas formas de astronomía.

El constructor del primer reloj mecánico fue un monje y matemático chino, budista tántrico, llamado Yixing (683-727). En realidad, era aquél un instrumento astronómico que servía de reloj. Un texto coetáneo lo describe de la siguiente manera:

“Estaba hecho a imagen del firmamento redondo, y en él aparecían las mansiones lunares, siguiendo su mismo orden, el ecuador y los grados de la circunferencia celeste. El agua movía las paletas y hacía girar automáticamente una rueda que daba una revolución completa en un día y una noche [24 horas]. Además, el aparato llevaba dos anillos que rodeaban la esfera celeste con el Sol y la Luna ensartados en ellos y a los que se imprimía un movimiento circular. La superficie de una caja de madera representaba el horizonte; el instrumento estaba medio hundido en ella y permitía calcular con exactitud el momento del amanecer y el del atardecer, la época de la luna llena y la de la nueva, cuándo podía uno demorarse y cuándo tenía que apresurarse. Llevaba también dos palancas de madera sobre la superficie del horizonte, una con una campana y la otra con un tambor delante; la campana repicaba para marcar las horas y el tambor redoblabla para marcar los cuartos, en ambos casos de forma automática.

“Todos estos movimientos se producían gracias a la acción de unos mecanismos situados en el interior de la caja y compuestos por ruedas y ejes, ganchos, pernos y engranajes, dispositivos de parada, etc.”.

Al igual que los relojes de agua, el de Yixing estaba sujeto a los cambios de las condiciones atmosféricas. Por lo general había que colocar junto a él unas antorchas con el fin de que no se congelara el agua del interior. Naturalmente, no ocurría lo mismo con los pequeños relojes de mercurio, ya que este elemento no se congela a las temperaturas que normalmente se dan en la Tierra. De ahí que en el siguiente gran reloj chino de cuya existencia tenemos constancia el agua fuera sustituida por el mercurio para resolver el problema de la congelación. Lo construyó Zhang Sixun en 976 d.C. La historia dinástica de la época lo describe así:

“Una torre de tres pisos, de más de tres metros de altura cada uno, en cuyo interior estaba oculta toda la maquinaria. En la parte superior era redondo, para simbolizar los cielos, y cuadrado en la inferior, para simbolizar la Tierra. Debajo estaban instalados la rueda y el eje inferiores y la base del armazón. A la izquierda, siete palancas de madera hacían repicar unas campanas y otra más grande a la derecha, además de un tambor en el centro que marcaba claramente los cuartos de hora. Cada día y noche [es decir, cada veinticuatro horas] la maquinaria realizaba una revolución completa, y los siete luminares cambiaban de posición en la eclíptica. Cada media hora salían otras doce palancas de madera, una detrás de la otra, con unas tablas que indicaban la hora”.

Estas primeras tentativas iban a desembocar en la fabricación del mayor de los relojes chinos del medievo, la “máquina cósmica” de Su Song, construida en el año 1092.

En realidad, el reloj de Su Song era una torre astronómica de más de tres metros de altura, como el inventado por Chang, pero en la parte superior del aparato de Su Song había otro instrumento astronómico de bronce, de gran tamaño, llamado esfera armilar, con el que se podía observar la posición de las estrellas. Una esfera celeste situada en el interior de la torre giraba sincronizada con la esfera de la parte superior, de modo que se podían comparar ambas constantemente. Sabemos que las observaciones que se realizaban en el globo interior y en la esfera de observación de la parte superior “coincidían como las dos mitades de una tarja”.

En la parte delantera de la torre había una estructura en forma de pagoda de cinco pisos, cada uno de ellos con una puerta por la que aparecían maniqués y palancas que hacían sonar campanas y gongs y que sostenían unas tablillas con las horas y otros periodos especiales del día y la noche. Todos estos indicadores de tiempo funcionaban gracias a la misma maquinaria gigantesca que hacía girar la esfera y el globo simultáneamente.

El reloj de Su Song estuvo en funcionamiento desde 1092 hasta 1126. Gracias a que sus principios llegaron hasta Europa, dos siglos más tarde, los relojes mecánicos pudieron empezar a construirse en Occidente. □

El papel moneda

En un comienzo se llamaba “dinero volador”, pues pesaba tan poco que se podía escapar fácilmente de las manos. En sentido estricto, los primeros billetes eran una especie de letra de cambio más que dinero real. Un comerciante podía depositar dinero en efectivo en la capital, por ejemplo, y recibir a cambio un certificado de papel que después cambiaba por dinero en efectivo nuevamente en cualquier provincia. En el año 812 el gobierno chino adoptó este sistema del comercio privado y lo aplicó al envío de impuestos e ingresos a la capital. También se empleaban “certificados de cambio” de papel, que eran expedidos por funcionarios gubernamentales en la capital y se cobraban en otros lugares en especies como sal y té.

- Parece ser que el papel moneda empezó a emplearse como medio de cambio respaldado por una cantidad determinada de dinero en efectivo a principios del siglo X en la provincia meridional de Sichuán como sistema privado. A principios del siglo XI el gobierno dio a dieciséis “bancos” privados autorización para que emitieran billetes de cambio; pero en 1023 se apropió de ese privilegio y creó un organismo oficial que emitía billetes con diversos valores respaldados por depósitos de dinero en efectivo.

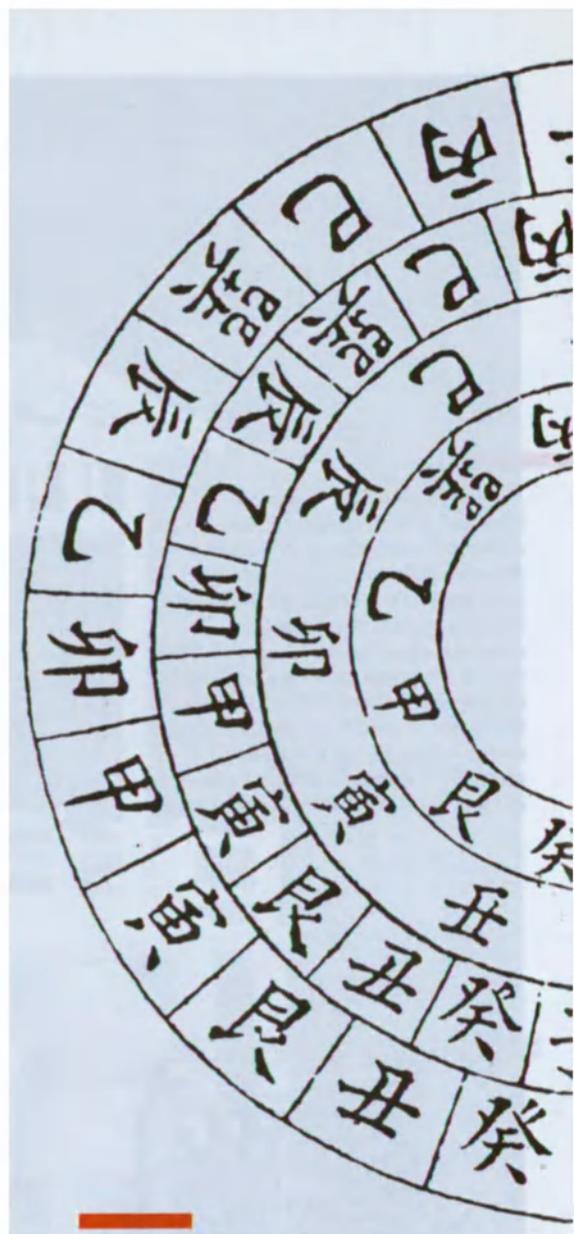
El dinero que emitía este banco del estado llevaba impresa la advertencia de que únicamente tenía validez por tres años y especificaba las fechas de emisión y de retirada. En 1107 los billetes se imprimían con moldes múltiples y en no menos de seis colores.

La cantidad de papel moneda que emitió el gobierno chino llegó a adquirir proporciones verdaderamente gigantescas. En 1126 se pusieron en circulación oficialmente setenta millones de cuerdas (cada cuerda equivalía a mil piezas en “metálico”). Como había enormes cantidades de papel moneda sin respaldo de un depósito, el resultado fue una inflación galopante.

En China se planteó rápidamente otro problema, el de la falsificación. Como cualquier persona puede imprimir un billete en un trozo de papel, la autoridad tiene que complicar de tal forma el proceso de fabricación que no pueda reproducirse con exactitud. De ahí que se utilizaran desde el principio complejos secretos de fabricación, como por ejemplo los colores múltiples, los dibujos sumamente complicados y el empleo de una determinada mezcla de fibras para la fabricación del papel. El material básico del papel de los billetes era la corteza de moral, a la que a veces se añadía seda. Se podían cambiar los billetes gastados o sucios, pero había que pagar una pequeña cantidad por imprimir los billetes nuevos.

Cuando los mongoles tomaron el poder en China, emitieron una singular forma de papel moneda llamada “billetes de seda”. Los depósitos que respaldaban este papel moneda no eran metales preciosos sino madejas de hilo de seda. En 1249 los billetes de seda chinos circulaban por lugares tan distantes como Persia. En 1965 unos arqueólogos descubrieron dos ejemplares de “billetes de seda”.

Bajo la dinastía Ming el papel moneda perdió una parte de su eficacia. Esta dinastía emitió en 1375 un billete nuevo llamado “billete precioso del Gran Ming”. Se emitió con un solo valor durante los doscientos años en que fue moneda de curso legal, circunstancia que no favorecía en absoluto al comercio, aunque se permitió la circulación de monedas de cobre, para poder disponer de las pequeñas cantidades de dinero que se necesitan en la vida cotidiana. Debido a la inflación, “el billete precioso” fue perdiendo poco a poco su valor, sustituyéndolo las monedas de plata. A mediados del siglo XVII los Ming intentaron restablecer el papel moneda tras un lapso de unos dos siglos, pero la cosa se hizo tan mal que el resultado fue una gran inflación. □



Este dibujo tomado de un tratado de geomancia de principios del siglo X indica las “direcciones y emanaciones de la aguja flotante”, es decir de la aguja imantada de la brújula flotando en agua o mercurio.

La laca



Esta caja de laca en forma de flor de ciruelo decorada con nubes y dragones data del reinado de Longqing (1567-1572), uno de los emperadores de la dinastía Ming.

La laca ya estaba difundida en China en el siglo XIII a.C., como mínimo. En esa época fue enterrada la reina Fu Hao en un ataúd laqueado, descubierto en Anyang en el año 1976 cuando se realizaban excavaciones en su tumba, que se encontró intacta. Needham hace la siguiente observación a propósito de la laca: "Podría decirse que la laca es el plástico industrial más antiguo que conoce el hombre."

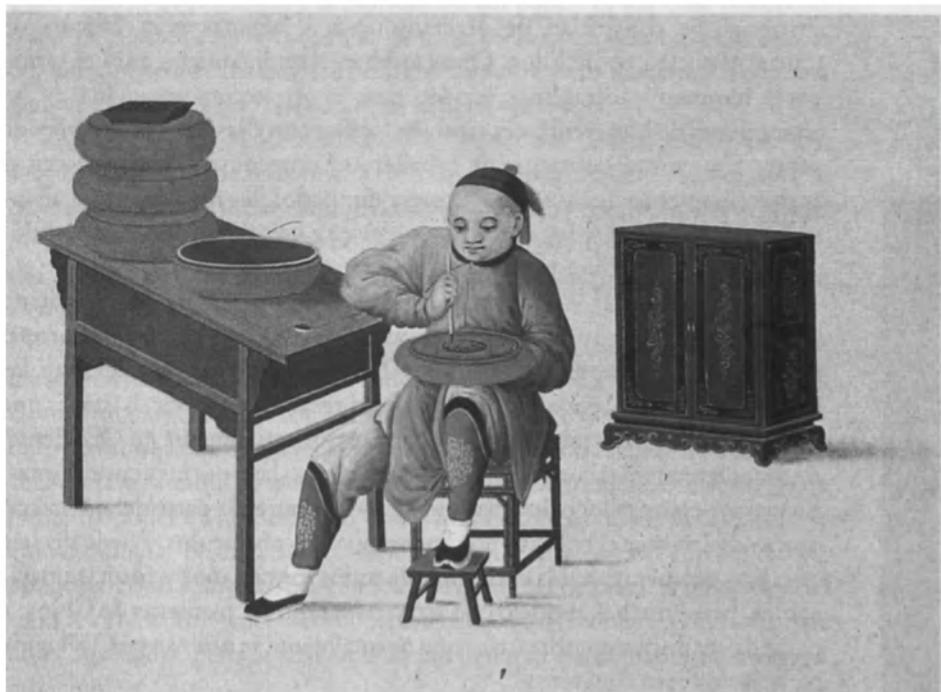
La laca se obtiene de forma parecida al caucho, extrayendo la savia del árbol de la laca, que se da en China pero no en Europa.

En China se empleaba ya hace miles de años la laca para fabricar utensilios de cocina. Los de madera, bambú y tela recubiertos con múltiples capas delgadas de laca constituían la vajilla corriente de los chinos acaudalados, en sustitución de las vasijas de bronce. Soportaban el calor del fuego y en ellos se podían servir alimentos, cumpliendo así las mismas funciones que el metal. Los emperadores chinos regalaban objetos laqueados a los funcionarios en reconocimiento por sus servicios, y el valor monetario de los mismos superaba el de los de bronce.

Los chinos empleaban la laca en los muebles, biombos, almohadones duros y cajas de todas clases. Se utilizaba igualmente en gorros y zapatos, y con ella se fabricaban accesorios para armas, como vainas de espada, arcos y escudos. También se hacían en la laca incrustaciones de oro, plata o carey. Gracias a la finura de las superficies laqueadas, los chinos pudieron crear un tipo de decoración sobremanera libre y espontánea, que tuvo grandes repercusiones en el arte antiguo de ese país.

La industria de la laca estaba muy bien organizada en la antigua China, con el sistema burocrático tradicional. Había centros manufactureros de laca privados y estatales. Se conserva una copa de vino de madera laqueada que, aparte de indicar la fecha de manufactura, da noticia del nombre de los siete artesanos que la fabricaron y de otros cinco funcionarios de la empresa. Con este detalle podemos hacernos una idea muy clara del enfoque que daban los chinos a la producción hace ya dos mil años. ¡Doce personas para fabricar una sola copa, y casi la mitad de ellas funcionarios que probablemente no la vieron jamás! Pero, por otra parte, el dato deja ya constancia de algo muy semejante a la cadena de montaje industrial moderna.

Ya en el siglo II a.C. los chinos habían realizado importantes descubrimientos químicos sobre la laca. Por ejemplo, hallaron un método para



Una de las fases del arte del laqueado: un artesano hace incisiones con motivos decorativos en una laca (lámina de fines del siglo XVIII).

evitar que se endureciera por evaporación, consistente en ...¡arrojar cangrejos a la laca para mantenerla en estado líquido! Lo cierto es que el tejido de los crustáceos contiene poderosas sustancias químicas que inhiben ciertas enzimas, entre ellas la que hace que se solidifique la laca. Needham escribe lo siguiente a propósito de este extraño fenómeno: “Los antiguos chinos descubrieron por casualidad un poderoso inhibidor del endurecimiento de la laca... Tal intervención en el curso de la naturaleza, análoga a la detención de un proceso de rigidez y envejecimiento espontáneos, debió de parecer muy importante a los alquimistas, preocupados como estaban por el mantenimiento de la juventud y el retraso o la eliminación del anquilosamiento y la muerte.”

La licuefacción perpetua de la laca representó un modelo de inmortalidad en esta bioquímica protoindustrial y, además, la laca acompañaba a los chinos desde la cuna hasta la tumba: de niños, les daban de comer en recipientes y con cucharas laqueados y a la hora de la muerte, los enterraban en ataúdes laqueados con hermosos adornos. □

Trono de laca roja de la dinastía Qing,
fechado entre 1736 y 1796.



El primer canal topográfico de transporte

Los chinos construyeron el primer canal topográfico de transporte (es decir, según el método consistente en aprovechar las configuraciones del terreno para salvar las montañas) en el siglo III a.C. No cabe duda de que los chinos fueron grandes ingenieros hidráulicos. Para demostrarlo, bastará con unos cuantos detalles sobre el Gran Canal, una arteria gigantesca para el transporte con barcazas que se construyó hace muchos siglos. Se extiende a casi 10 grados de latitud del globo terrestre, con una longitud de unos 1.800 kilómetros. La obra se terminó en 1327.

Se cree que el canal de transporte de Hong Gou fue el primero que se construyó en China, seguramente en el siglo VI a.C.; pero el que reviste mayor interés para nosotros es el primer canal topográfico de transporte, el Canal Mágico (Lingqu), obra del siglo III a.C. Fue construido por el ingeniero Shih Lu, por orden del emperador Qin Shih Huangdi, el monstruo tiránico y supersticioso que unificó China por primera vez. Este canal tan innovador se creó con el fin de ayudar a abastecer a los ejércitos imperiales enviados al sur en el año 219 a.C. para someter a los habitantes de Yue. El gran historiador Sima Qian nos dice lo siguiente:

“[El emperador] envió al sur a los comandantes (Zhao) Tuo y Tu Zhu a que se pusieran al frente de las tropas que viajaban a bordo de naves con objeto de conquistar las tierras de las cien tribus de Yue. También ordenó al inspector (Shi) Lu que abriera un canal para poder enviar cereales a la región de Yue”.

El Canal Mágico, que sigue en servicio en la actualidad, tiene poco más de 32 kilómetros de largo. Su principal interés no radica pues en la longitud, que no es excepcional. Gracias a la construcción de este canal, que une dos ríos que discurren en direcciones opuestas, se pudo crear una vía de navegación continua para el transporte con barcazas que se extiende a lo largo de 2.000 kilómetros en línea recta, desde el paralelo 40 hasta el 22. De este modo es posible navegar tierra adentro desde la latitud de Pekín, al norte, hasta Cantón, el mar y la actual Hong Kong, al sur. El Canal Mágico es el eslabón final de la cadena.

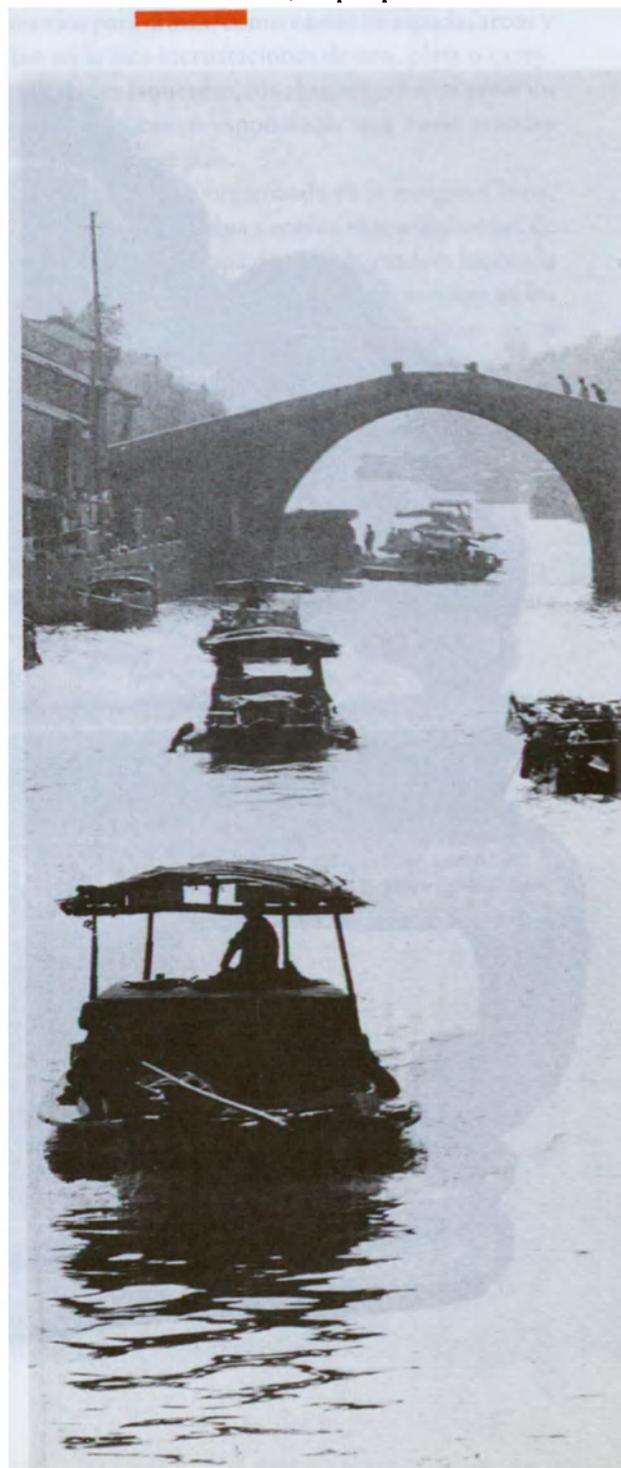
El problema que hubo que resolver consistía en que el río Xiang, que nace en el monte Haiyang, fluye hacia el norte, mientras que el cercano río Li discurre hacia el sur. La idea era pasar en barco del uno al otro, pues el Xiang desemboca en el Yangtze y el Li en un afluente del río Occidental, que llega hasta Cantón. Junto a la aldea de Xingan, en un paisaje montañoso de piedra caliza, entre el Xiang y el Li sólo median 5 kilómetros.

En ese punto había un puerto de montaña en el que podía excavar un canal. Ambos ríos son turbulentos y hubo que excavar un canal de transporte lateral de 3,5 kilómetros de longitud siguiendo el curso del río Xiang, con una pendiente más pronunciada que la del propio río.

En el otro extremo hubo que canalizar 28 kilómetros del río Li para hacerlo navegable. Sólo después de “domar” de este modo el río fue posible excavar un canal de 5 kilómetros que unía ambos extremos. En medio del Xiang se construyó un terraplén alargado que dividía la corriente en dos, respaldado por dos aliviaderos. En Xingan se tendieron varios puentes sobre el canal, que tenía casi 1 metro de hondo y 5 de ancho.

Como se construyó siguiendo la topografía del puerto de montaña, el canal es casi llano. A más tardar en el siglo IX se habían construido ya dieciocho compuertas, reduciéndose el número de torres que se necesitaban para las barcazas gracias a la regulación del nivel y del caudal de las aguas. En el siglo X o en el XI se cambiaron esas torres por otro tipo de esclusas más avanzadas. El Canal Mágico acabó por considerarse una vía de navegación sagrada, con un dragón como espíritu rector. Dícese que los emisarios del dragón eran serpientes azules llamadas “cachorros de dragón”, que jugueteaban en las manos de las personas que acudían a ver aquella obra de ingeniería. Hoy lo cruza un puente de ferrocarril. □

Este tipo de junco articulado, que servía para transportar mercancías, fue concebido especialmente para franquear los recodos estrechos y tramos someros del Gran Canal de China, gigantesca arteria navegable de cerca de 1800 km de largo concluida en el siglo XIV. Al ser separables, la proa y la popa de este barco largo y angosto pueden moverse independientemente. El mástil se inclina completamente para pasar bajo uno de los numerosos puentes tendidos sobre el canal. Abajo, el Gran Canal en la actualidad, a su paso por Wuxi.



La inmunología

Los orígenes de la inoculación contra la viruela en China son misteriosos. Sabemos que la técnica surgió en la provincia meridional de Sichuán, donde hay una montaña llamada Emeishan, famosa por sus relaciones con el budismo o el taoísmo. Los alquimistas taoístas que vivían como ermitaños en las cuevas de esa montaña poseían el secreto de la inoculación contra la viruela ya en el siglo X d.C.

La técnica se hizo pública cuando el hijo mayor del primer ministro Wang Dan (957-1017) murió aquejado de esta enfermedad. Desesperado, Wang intentó por todos los medios evitar que les ocurriera lo mismo a otros miembros de su familia y llamó a los médicos, sabios y magos de todo el imperio para que encontraran un remedio. Un eremita taoísta de Emeishan llevó la técnica de la inoculación a la capital.

La inoculación entraña ciertos riesgos que la distinguen de la técnica de la vacunación, que es posterior. Cuando se inocula a una persona, se le introduce en el cuerpo el virus vivo. Si el proceso acaba bien, esa persona queda inmunizada para toda la vida, pero puede ocurrir que sólo se consiga exponer al paciente abiertamente a la enfermedad y que contraiga la viruela. Con la vacunación la inmunidad es temporal, por lo que hay que repetirla cada varios años. Ello se debe a que en esta técnica se emplean virus muertos o desnaturalizados, que no pueden producir la enfermedad.

A primera vista, la inoculación contra la viruela puede parecer una aberración, como si lo que se hiciera fuera producir deliberadamente la enfermedad. Pero no es así, y en esto podemos comprobar la asombrosa sutileza de la técnica china. Se empleaban diversos métodos para atenuar el virus mortal. En primer lugar, estaba terminantemente prohibido extraer material variólico de las personas que padecieran la enfermedad. Los chinos concebían la inoculación como un "trasplante" de material variólico, como los brotes de un frijol en germinación. El término chino para "inocular" es *zhong dou* o *zhong miao*, que significa "implantar los gérmenes" o "implantar los brotes".

El método consistía en poner el material variólico en un tampón de algodón, que se insertaba en la nariz del paciente, el cual absorbía el virus por la respiración y por la mucosa de la nariz. (Se piensa que la técnica de raspar la piel e inocular el virus en la incisión apareció mucho más tarde, posiblemente en Asia central, a medida que el método de la inoculación se extendía hacia Occidente).

Lo ideal era recoger material variólico de personas que ya habían sido inoculadas y que tenían costras. Los chinos también conocían la diferencia entre los dos tipos de viruela, la *Variola major* y la *Variola minor*, y extraían material de personas que padecían esta última, que era una forma menos virulenta; pero la fuente principal eran las costras de una persona que había sido inoculada con material extraído de otra persona que a su vez había sido inoculada y así sucesivamente... Dicho de otro modo, el virus se atenuaba mediante la inoculación múltiple en el transcurso de varias generaciones.

Pero existían otros métodos artificiales para atenuar el virus aun más, de modo que se corrieran menos riesgos. A continuación reproducimos un párrafo de un estudio sobre *Trasplante de viruela* publicado por Zhang Yan en el año 1741:

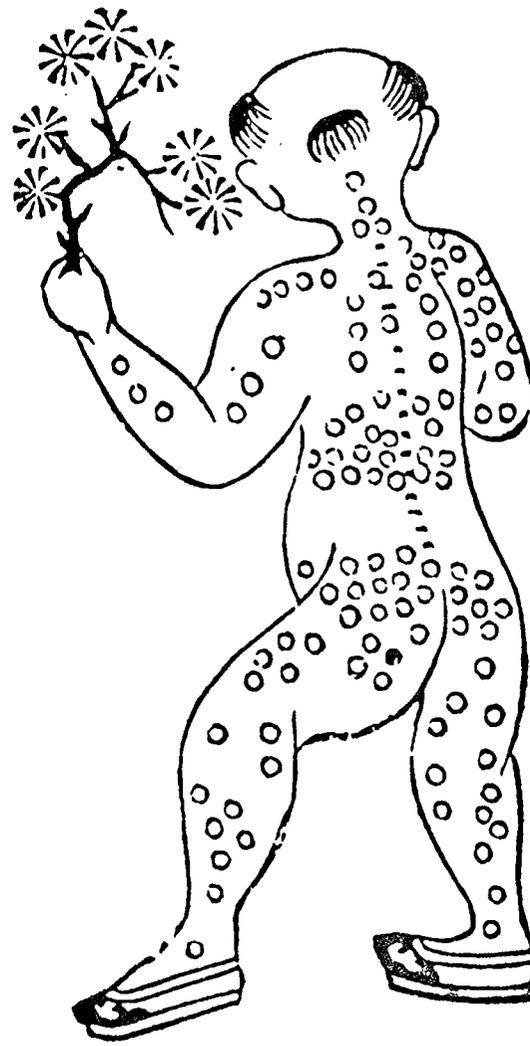
"Método para guardar el material. Envuélvase las costras en papel y méntanse en un frasquito, que se tapaná con cuidado para que no pierdan fuerza. El frasco no debe exponerse a la luz del sol ni recibir el calor del fuego. Lo mejor es llevarlo en el cuerpo durante algún tiempo para que las costras se sequen lentamente y de forma natural. En el frasco se colocará una etiqueta que indique claramente la fecha en que las costras fueron extraídas al paciente.

"En invierno este material posee una fuerza *yang*, gracias a la cual permanece activo incluso al cabo de treinta o cuarenta días. Pero en verano la fuerza *yang* se perderá en unos veinte días. El mejor material es el que no lleva demasiado tiempo guardado, pues cuando la fuerza *yang* es abundante, produce reacción en nueve de cada diez personas; pero a medida que envejece va perdiendo su actividad y, por último, no funcionará".

Needham comenta como sigue este y otros párrafos semejantes:

"Por tanto, el sistema consistía en mantener la muestra para la inoculación durante un mes o más a la temperatura del cuerpo (37°) o menos, lo que tenía el efecto de desactivar por medio del calor el 80 por ciento de las partículas de los virus vivos; pero como la proteína muerta no desaparece había que aplicar un fuerte estímulo para fomentar la producción de interferón y la formación de anticuerpos cuando se llevaba a cabo la inoculación".

Dicho con otras palabras, el 80 por ciento de los virus de viruela con que se inoculaba a los chinos estaban muertos y no podían producir la enfermedad. Por el contrario, como ocurre con la vacunación, se estimulaba al organismo para que produjera anticuerpos. □



El método de la vacunación apareció en el siglo X en China, con la práctica de la inoculación contra la viruela. En esta ilustración tomada del libro *Espejo de oro de la medicina* (1743) se ve a un niño atacado por la enfermedad.

Créditos fotográficos

Páginas 2, 4-5, 8, 10, 33: Fotos Rony Heirman © Comisariado General para la Cooperación Internacional del gobierno flamenco, Bruselas — Instituto China-Europa, Lovaina — Centro Internacional para la Ciencia, Beijing. Páginas 4, 17, 29: Fotos © MacQuitty Collection, Londres. Página 5 (abajo): Foto British Library, Londres © Comisariado General para la Cooperación Internacional del gobierno flamenco, Bruselas — Instituto China-Europa, Lovaina — Centro Internacional para la Ciencia, Beijing. Página 6: Foto Rony Heirman © Comisariado General para la Cooperación Internacional del gobierno flamenco, Bruselas — Instituto China-Europa, Lovaina — Centro Internacional para la Ciencia, Beijing. Páginas 7, 20: Fotos Paolo Koch © Rapho, París. Páginas 11, 16: Fotos Rony Heirman © Comisariado General para la Cooperación Internacional del gobierno flamenco, Bruselas — Instituto China-Europa, Lovaina — Centro Internacional para la Ciencia, Beijing — Needham Research Institute, Cambridge. Page 12: dibujo tomado de *Tiangong kaiwu* (1637). Páginas 14-15, 26, 27: Fotos © Science Museum, Londres. Páginas 18, 22-23: Fotos © Ashmolean Museum, Oxford. Páginas 19, 22: Fotos © Réunion des Musées nationaux, Museo Guimet, París. Páginas 21, 28-29: documentos tomados de los volúmenes III y IV de *Science and Civilization in China* por Joseph Needham, Cambridge University Press, Reino Unido. Páginas 23 (arriba), y 30 (abajo): Fotos © Aldus Archives, Londres. Página 23 (abajo): Foto © John Webb, Victoria and Albert Museum, Londres. Página 24: Foto © Bruce Coleman, Uxbridge, Reino Unido. Página 25: Foto Cecil Beaton © Imperial War Museum, Londres. Página 31: Foto © Victoria and Albert Museum, Londres. Páginas 32-33: Foto Georg Gerster © Rapho, París. Página 34: tomado de *Clerks and Craftsmen in China and the West* por Joseph Needham, Cambridge University Press, Reino Unido.



Revista mensual publicada en 35 idiomas por la Unesco, Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura. Se publica también trimestralmente en braille, en español, inglés, francés y coreano.

Redacción y distribución:

Unesco, Place Fontenoy, 75700 París.

Redacción (en la Sede, París):

Secretaría de redacción: Gillian Whitcomb

Español: Francisco Fernández-Santos, Miguel Labarca

Francés: Alain Lévêque, Neda el Khazen

Inglés: Roy Malkin, Caroline Lawrence

Arabe: Abdelrashid Elsadek Mahmudi

Braille:

Documentación: Violette Ringelstein

Ilustración: Ariane Bailey

Composición gráfica: Georges Servat

Relación con las ediciones fuera de la Sede:

Solange Belin

Ventas y suscripciones: Henry Knobil

Ediciones (fuera de la Sede):

Ruso: Georgi Zelenin (Moscú)

Alemán: Werner Merkli (Berna)

Japonés: Seiichi Kojima (Tokio)

Italiano: Mario Guidotti (Roma)

Hindi: Sri Ram (Delhi)

Tamul: M. Mohammed Mustafa (Madrás)

Hebreo: Alexander Brojdo (Tel-Aviv)

Persa: H. Sadough Vanini (Teherán)

Portugués: Benedicto Silva (Rio de Janeiro)

Neerlandés: Paul Morren (Amberes)

Turco: Mefra Ilgazer (Estambul)

Urdu: Hakim Mohammed Said (Karachi)

Catalán: Joan Carreras i Martí (Barcelona)

Malayo: Abdul Manaf Saad (Kuala Lumpur)

Coreano: Paik Syeung-Gil (Seúl)

Swahili: Domino Rutayebesibwa (Dar es-Salam)

Croata-serbio, esloveno, macedonio

y serbio-croata: Bozidar Perkovic (Belgrado)

Chino: Shen Guofen (Pekín)

Búlgaro: Goran Gotev (Sofía)

Griego: Nicolas Papageorgiu (Atenas)

Cingalés: S.J. Sumanasekara Banda (Colombo)

Finés: Marjatta Oksanen (Helsinki)

Sueco: Lina Svenzén (Estocolmo)

Vascuence: Gurutz Larrañaga (San Sebastián)

Tai: Savitri Suwansathit (Bangkok)

Vietnamita: Dao Tung (Hanoi)

Pashu: Nasir Seham (Kabul)

Hausa: Habib Alhassan (Sokoto)

Tarifas de suscripción:

1 año: 90 francos franceses (España: 2.385 pesetas

IVA incluido).

Tapas para 12 números (1 año): 62 francos.

Reproducción en microfilm (1 año): 85 francos.

Los artículos y fotografías que no llevan el signo © (copyright) pueden reproducirse siempre que se haga constar "De El Correo de la Unesco", el número del que han sido tomados y el nombre del autor. Deberán enviarse a El Correo tres ejemplares de la revista o periódico que los publique. Las fotografías reproducibles serán facilitadas por la Redacción a quien las solicite por escrito. Los artículos firmados no expresan forzosamente la opinión de la Unesco ni de la Redacción de la Revista. En cambio, los títulos y los pies de fotos son de la incumbencia exclusiva de ésta. Por último, los límites que figuran en los mapas que se publican ocasionalmente no entrañan reconocimiento oficial alguno por parte de las Naciones Unidas ni de la Unesco.

La correspondencia debe dirigirse al director de la revista.

Imprimé en France (Printed in France) - Dépôt légal:

CI - Octobre 1988

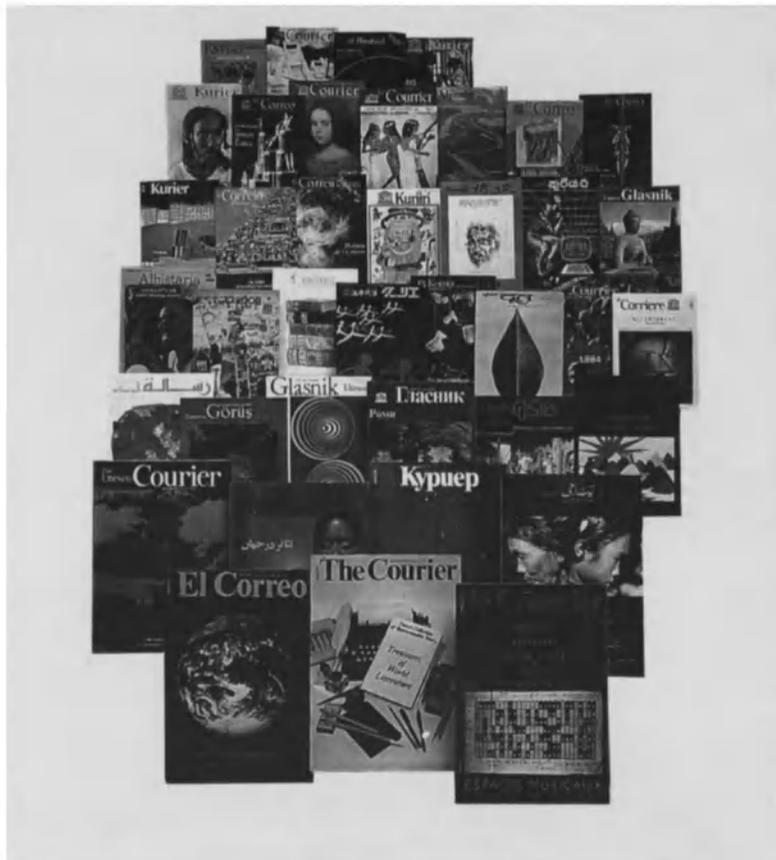
Photogravure-impression: Maury-Imprimeur S.A.,

Z.I., route d'Etampes, 45330 Malesherbes

ISSN 0304-310X

Nº 10 - 1988 - OPI - 88 - 3 - 461 S

Para renovar su suscripción y pedir otras publicaciones de la Unesco



ALEMANIA (Rep Fed de) UNO-Verlag Simrockstrasse 23 D-5300 Bonn 1 S Karger GmbH Karger Buchhandlung Angerhofstrasse 9 Postfach 2 D-8034 GERMING / Munchen *El Correo* (ediciones alemana inglesa española y francesa) M Herbert Baum Deutscher Unesco-Kurier Vertreib Besaitstrasse 57, 5300 Bonn 3 *Para los mapas científicos* Geo Center Postfach 800830 7000 Stuttgart 80 Hongwiesenstrasse 25

ANGOLA, Casa Progresso / Seccao Angola Media., Calçada de Gregorio Ferreira 30 CP 10510 Luanda BG Distribuidora Livros e Publicações Caixa Postal 2848 Luanda

ARGENTINA, Librería El Correo de la Unesco EDILYR S R L Tucuman 1685 1050 Buenos Aires

BELGICA, Jean De Lannoy, 202 ave du Roi 1060 Bruxelles

BOLIVIA, Los Amigos del Libro casilla postal 4415 La Paz: Avenida de las Heroínas 3712 casilla postal 450 Cochabamba

BRASIL, Funoção Getulio Vargas Editora-Divisão de Vendas caixa postal 9 052-ZC-02 Praia de Botafogo 188 Rio de Janeiro 2000 *Para libros* Imagem Latinoamericana av Paulista 750 1 andar Caixa postal 30455 São Paulo CEP 01051

CABO VERDE, Instituto Caboverdiano do Livro Caixa postal 158 Praia CANADA, Renouf Publishing Company Ltd / Editions Renouf Ltée 1294 Algoma Road Ottawa Ont K1B 3W8 (Librerías 61 rue Sparks St Ottawa y 211 rue Yonge St, Toronto Oficina de ventas 7575 Trans Canada HWY Ste 305 St Laurent Quebec H4T1V6)

CHILE, Editorial Universitaria S A Departamento de Importaciones M Luisa Santander 0447 casilla 10220 Santiago Editorial Andres Bello, Av R Lyon 946 casilla 4256 Santiago DIPUBLIC Antonio Varas 671 2º piso, Casilla 14364 Correo 21 Santiago

CHINA, China National Publications Import and Export Corporation PO Box 88 Beijing

COLOMBIA, Instituto Colombiano de Cultura, carrera 3ª nº 18/24 Bogota - *Para libros* Librería Buchholz Galeria Calle 59 nº 13-13 apartado aereo 53750 Bogota

COSTA RICA, *Para libros* Cooperativa del libro, Universidad de Costa Rica Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, San Pedro Montes de Oca San Jose *Para revistas* Librería Trejos S A apartado 1313 San José

CUBA, Ediciones Cubanas, O Reille 407 La Habana

ECUADOR, *Para libros* Nueva Imagen 12 de Octubre 959y Roca Edificio Mariano de Jesus, Quito *Para revistas* DINACUR Cia Ltda, Santa Prisca 296 y Pasaje San Luis oficina 101-102 casilla 112B Quito

ESPAÑA, MUNDI-PRENSA LIBROS S A Castillo 37 Madrid 1 Ediciones LIBER apartado 17, Magdalena 8 Ondarroa (Vizcaya); Donaire, Ronda de Outeiro, 20 apartado de correos 341, La Coruña Librería de la Generalitat, Palau Moja Ràmba de los Estudios 118 08002 Barcelona

ESTADOS UNIDOS DE AMERICA, Bernan-UNIPUB Periodicals Department, 4611-F Assembly Drive Lanham, MD 20706 4391

FILIPINAS, National Book Store Inc 701 Rizal Avenue Manila

FRANCIA, Librairie de l'Unesco 7 Place Fontenoy 75700 París *Para revistas* Unesco CPD / V-1, rue Mollat Paris 75015

GUADALUPE, Librairies Carnot, 59 rue Barbès 97100 Pointe-à-Pitre

GUATEMALA, Comisión Guatemalteca de Cooperación con la Unesco 3a Avenida 13-30, Zona 1, apartado postal 244, Guatemala

GUINEE-BISSAU, Instituto Nacional do Livro e do Disco Conselho Nacional da Cultura Avenida Domingos Ramos nº 10 - A BP 104 Bissau

HONDURAS, Librería Navarro 2ª avenida nº 201 Comayagua Tegucigalpa

ISRAEL, Sternatzky Ltd, Citrus House, 22 Harakevet St, PO Box 628

Tel-Aviv 61006, ABC Bookstore Ltd PO Box 1283 71 Allenby Road Tel-Aviv 61000

ITALIA, LICOSA (Librería Commissionaria Sansoni S p a) via Lamarmora 45 casella postale 552 50121 Firenze y via Bartolini 29, 20155 Milano FAO

Bookshop via delle Terme di Caracalla 00100 Roma

LUXEMBURGO *Para libros* Librairie Paul Bruck 22 Grand-Rue Luxembourg

Para revistas Messageries Paul Kraus BP 2022 Luxembourg

MARRUECOS Librairie "Aux Belles Images" 281 avenue Mohamed V Rabat Librairie des Ecoles 12 av Hassan-II Casablanca Societe cherlienne de distribution et de presse SOCHEPRESS angle rues de Dinant et St-Saens BP 13683 Casablanca 05

MARTINICA Hatier Martinique 32 rue Schoelcher BP 188 97202 Fort de France

MEXICO, Librería "El Correo de la Unesco" Actpan 66 Colonia del Valle Mexico 12 DF Apartado postal 61 - 164 06600 Mexico D F

MONACO, British Library 30 bd des Moulins, Monte-Carlo

MOZAMBIQUE, Instituto Nacional do Livro e do Disco (INLD) avenida 24 de Julho 1921 r / d 6º andar Maputo

NICARAGUA, Librería Cultural Nicaragense calle 15 de Septiembre y avenida Bolívar apartado 80/ Managua Librería de la Universidad Centroamericana apartado 69 Managua

PAISES BAJOS, *Para libros* Keesing Boeken B V Hogehilweg 13 1101 CB Amsterdam Postbus 1118 1101 CB Amsterdam *Publicaciones periódicas* Paxton-Europe, PO Box 197 100 AD Amsterdam

PANAMA, Distribuidora Cultura Internacional apartado 7571 Zona 5 Panama

PERU Librería Studium Plaza Francia 1164 apartado 2139 Lima Librería La Familia Pasaje Peñaloza 112 apartado 4199 Lima

PORTUGAL, Dias & Andrade Ltda Livraria Portugal rua do Carmo 70-74 Lisboa 1117 Cedex

REINO UNIDO, HMSO, PO Box 276 London SW8 5DT, Government bookshops London Belfast, Birmingham Bristol Edinburgh Manchester Thirds

World publications 151 Stratford Road Birmingham B11 1RD *Para los mapas científicos* McCarta Ltd 122 Kings Cross Road London WC1X 9DS

PUERTO RICO, Librería Alma Mater Cabrera 867 Río Piedras Puerto Rico 00925

REP. DEM ALEMANIA, Librerías internacionales o Buchexpport Leninstrasse 16 7010 Leipzig

REPUBLICA DOMINICANA, Librería Blasco avenida Bolívar nº 402, esq Hermanos Deligne Santo Domingo

SUECIA, A/BC E. Fritzes Kungl Hovbókhandel Regeringsgatan 12 Box 16356 10327 Stockholm 16 *Publicaciones periódicas* Wennergren-Williams

AB, Box 30004 S-10425 Stockholm Esselte Tidskriftscentralen Gamla Brogatan 26, Box 62, 10120 Stockholm *Para El Correo* "Svenska FN-Forbundet" Skolgrund 2 Box 15050, 10465 Stockholm

SUIZA, Europa Verlag Ramisstrasse 5 CH-8024 Zurich Librairies Payot en

Geneve, Lausanne Bâle, Berner Vevey, Montreux Neuchâtel Zurich

TRINIDAD Y TOBAGO, National Commission for Unesco 18 Alexandre Street, St-Claire Trinidad (W I)

URSS, v / o Mezhdunarodnaya Kniga U1 Dimitrova 39 Moskva 113095

URUGUAY, Ediciones Trecho S A, Maldonado 1092 Montevideo

VENEZUELA, Librería del Este avenida Francisco de Miranda 52 Edificio Galpan apartado 60337 Caracas 1060-A DILA E C A aLFADIL eDICIO-

NES s a avenida los Mangos Las Delicias Apartado 50304 Sabana Grande Caracas, CHESALC Apartado Postal 62090, Edificio "Asovincar" Av: Los Chorrros cruce calle Acueducto Altos de Sebuca, Caracas 1060 A

