



Prologo

Técnica y vida

Naturaleza y técnica.

Desde sus formas más humildes y elementales hasta las más altas y complicadas, la vida es siempre actividad¹. La planta no es solamente un impulso hacia la luz; por su capacidad de asimilación y su ritmo de crecimiento, por su arte de orientación, su conquista del espacio y sus métodos de defensa, es el primer instrumento de la acción vital. El animal, que por su modo de alimentación escapa de la inmovilidad relativa de los vegetales desarrolla en todas direcciones el ímpetu industrioso de la naturaleza. La transformación prodigiosa de la vida, que a nuestra vista diseña y deshace la forma inestable de una gota de protoplasma, triunfó sobre la materia. A través de las generaciones, con los fracasos y éxitos de las más diversas especies, la vida se adueñó del agua, la tierra y el aire mediante mecanismos exactamente apropiados a su fin. La aleta y el ala son resultados visibles de esta ingeniosidad constructiva.

Todo Ser viviente lleva en sí mismo en una u otra forma, la ley interna de su actividad. El instinto que regula a las abejas, los castores y los pájaros en la ejecución de actos tan precisos como la fabricación de células hexagonales, la construcción regular de un dique, la edificación de un nido, sigue siendo a menudo un misterio para nuestra inteligencia. En cambio, las acciones de este instinto son bastante claras: el animal, al repetir una serie de actos bien definidos y suficientemente coordinados, consigue, para sí y para su especie, una transformación generalmente provechosa de las cosas exteriores y, elabora con eficacia los materiales que le brinda la naturaleza. Esta serie de operaciones definidas, de actos coordinados mediante los cuales se obtiene la transformación deseable de las cosas que nos rodean, es decir, del "medio" inicial representa lo que los hombres llaman procedimientos técnicos, o sencillamente técnicas².

¹ Hasta podemos decir que el mundo físico es el preludio del instinto animal y de la técnica humana, por ejemplo en la actividad geológica y en la aparición de mecanismos "completamente montados". Estos últimos tales como el soporte, el dique, la palanca, el sifón, guiaron a veces al hombre en sus primeras creaciones.

² Sin embargo la noción humana de la técnica es más amplia que el conjunto de procedimientos susceptibles de modificar la materia; no debemos olvidar que el lenguaje, la educación, el derecho, por ejemplo, son técnicas

Las técnicas alcanzan su desarrollo completo en el hombre porque, merced a la forma de su cuerpo y a la aptitud de su cerebro, no se limita a copiar los procedimientos industriales de la vida; llega a crear otros, es un prodigioso inventor de mecanismos nuevos, distintos de los que la naturaleza, por medio del instinto, había asociado a la forma misma del cuerpo del animal y a su ritmo.

En efecto, podemos decir que el único instrumento del que dispone el animal es su propio cuerpo, y lo utiliza sólo de acuerdo con el ritmo determinado por su especie, ritmo que lo obliga a repetir continuamente, a través de las distintas edades, uno o muchos actos invariables la actividad humana, por incierta, alocada y desorientada que parezca si la comparamos con la imponente estabilidad de los instintos animales es sin embargo, el origen de la acción universal. El genio mismo de la vida se prolonga en esta actividad y la vida te abre camino asociando continuamente a los cuerpos técnicas nuevas más eficaces. Del mismo modo el hombre asocia su propio cuerpo, que deja de ser un Instrumento trivial, a la más poderosa astucia, consistente en inventar instrumentos nuevos, cada vez más sorprendentes, cada vez más eficaces, cada vez más aptos para superar por el camino trazado, el ingenio creador de la vida.

El cerebro, la mano, la sociedad.

Se ha dicho a menudo que el hombre fue arrojado sobre la tierra desnudo, débil e indefenso. Sin embargo, este cuerpo que no tiene una vocación evidente, cuyo Instinto es incompleto y que no posee una técnica privilegiada, se apropiará del universo y de la acción porque es apto "para todo", la variedad de combinaciones que su estructura física y mental tiene a su disposición lo liberan de la fatalidad animal y de la servidumbre del instinto. Su cerebro, más complicado y más evolucionado que el de los otros animales, ofrece a las posibilidades de acción caminos más imprevistos y más abundantes y su mano, cuyo pulgar es oponible a los otros dedos, puede transformar en instrumentos provechosos, de aplicación infinitamente variable; la materia que le resiste.

esenciales; por el contrario, algunos sabios tienen tendencia a considerar la técnica "como un fenómeno biológico universal y no solamente como una operación intelectual del hombre". Cf. CANGUILHEM, *La connaissance de la vie*, Pág. 158

La superioridad técnica del hombre estriba en la coordinación entre el cerebro y la mano: un cerebro más capas que permite múltiples combinaciones y una mano más hábil para realizarlas porque no está servilmente adaptada a una sola función. Además, no podemos separar coordinación, entre el cerebro y la mano, de la armonía completa, mecánica y psíquica, nerviosa y muscular, que la estructura humana representa en la serie animal.

Todas esas aptitudes, tanto morales como físicas, que hacen del hombre el más brillante y enigmático de los seres organizados, anuncian el destino de la técnica... La aptitud para la vida en común y la posibilidad de desarrollar incesantemente los caracteres de la vida "social" transforman la potencia técnica del hombre, y lo hacen dueño del espacio y del tiempo.

La sociedad, al relacionar el invento de un solo hombre y el recuerdo de los experimentos de sus antecesores, con el cuerpo y el espíritu de los que vendrán después, confiere su dimensión característica a la inteligencia humana. Gracias a esta prolongación inmensa, nuestra técnica puede luchar ventajosa mente contra las grandes potencias naturales. Puede oponerse siempre a los métodos silenciosos del mundo vivo, a sus astucias, a sus enigmas y al camino, inflexible del instinto.

Técnica y civilización.

La historia de las técnicas no es solamente la descripción de los sucesivos descubrimientos del ingeniero o del artesano;³ es también el encadenamiento de las grandes circunstancias sociales que favorecieron o entorpecieron, desarrollaron o ahogaron el auge del hombre fabricante de mecanismos para transformar la naturaleza.

Una visión panorámica de la historia de la civilización nos la muestra, en gran parte constituida por el aporte de estas dos potencias que, en forma alternada, sostienen y dominan al individuo: la técnica que prolonga al infinito su acción, la sociedad que prolonga al infinito su duración. A veces prevalecen el genio industrial y el invento

³ Tanto la invención técnica como artística presuponen, siempre un acto de audacia y de libertad, la ruptura, por lo menos relativa, de una tradición. Pero para la historia tiene mayor importancia la transmisión colectiva que el papel episódico de la inteligencia individual, por brillante que este sea. El estudio de las sociedades nos hace considerar las artes prácticas y las técnicas como un conjunto de reglas fijas, de costumbre organizadas con reflexión y no como una serie de iniciativas razonadas: La técnica es un sistema de costumbres sociales. En esta obra, que trata de valorizar ciertos aspectos característicos de la técnica humana en distintas épocas, sin ocultar su heterogeneidad, el punto de vista de la invención individual con el de la transmisión colectiva.

científico y mecánico en la marcha ascendiente de toda una civilización. A veces la sociedad domina al progreso técnico, lo regular lo domestica, por decirlo así, cuando lo somete a la armonía de los grandes instintos vitales; pero "civilizando" al máximo el pensamiento técnico, lo adormece: los éxitos sublimes de Grecia y Roma, los refinamientos de la gran cultura china, exigieron esos renunciamientos. El mundo moderno, por el contrario, heredero de la esperanza mística y de los esfuerzos industriales de la Edad Media, trató de adaptar su estilo de vida a la filosofía de sus técnicas, hijas de la razón griega y de las ciencias de la materia. Estamos todavía influidos por ese entusiasmo. Pero desde el siglo XIX el continuo aumento de nuestro poder de acción material supera visiblemente los recursos, por no decir los límites, de nuestro genio social. A través de crisis económicas, desgarramientos políticos, descalabros de la cultura, desaparición del refinamiento psicológico y moral, el hombre del siglo, XX trata penosamente de adaptar su alma y su cuerpo al ritmo de sus máquinas; por esta razón acude con desesperación a los más, íntimos recursos del instinto colectivo.

Tenemos la impresión más o menos clara de que la inteligencia consagrada sólo a imponer sus obras creadoras, corre el riesgo de olvidar ahora nuestro punto de partida natural. El exceso de dedicación al trabajo de la materia puede engeguercer tanto —como la servidumbre del instinto— sin llegar a reemplazar la estabilidad, certeza y serenidad del mismo. Con el triunfo de la civilización industrial ¿No perderemos quizás la secreta sabiduría de la vida? ¿O sabremos restablecer una justa armonía entre los fines de nuestra especie y los métodos que empleamos para obtenerlos?

Este libro no pretende resolver los enigmas de la historia. Sólo quiere recordar a todos las condiciones esenciales de nuestro equilibrio vital evocando las técnicas humanas: epopeya brillante, fascinante por sí misma y por todo lo que nos revela acerca del hombre, sobre lo bueno y lo malo de su condición de inventor. La industria es el símbolo de las potencias ambiguas: con el hierro se hace el arado pero también la espada. La aventura del hombre cuando domina la materia ¿Será el preludio de su propia servidumbre o el prefacio de su liberación? Desearíamos que, teniendo en cuenta su pasado, las técnicas pudieran, por lo menos, brindar al

hombre un beneficio sin rastros venenosos: la voluntad de dominarse, el arte de conocerse juzgando sus obras.

Al terminar esta obra, deseo expresar mi agradecimiento a todos mis colegas de la Universidad de Besancon, que me alentaron con su simpatía. Deseo agradecer especialmente a los profesores Louis Glangraud, de la Facultad de Ciencias; Lucien Lerat, de la Facultad de Letras; Henri Touchard profesor del Liceo; André Gulllerrmit, y a mi excelente, colega y amigo Jule Vuillemin, que mucho me ayudaron al examinar las pruebas, en circunstancias a veces difíciles.

Besancon. Julio 17 de 1944.

La tercera edición de esta obra contó con las Informaciones de Bertrand Gué y con su amistosa colaboración; fueron de gran ayuda también la simpatía y la erudición de Maurice Daumas. Les quedo sinceramente reconocido, así como a Jean Gimpel y Jean Pilisí.

Besancon. Julio 17 de 1944.

Primera parte

Técnicas primitivas

Capítulo 1

Las herramientas, el fuego y el lenguaje

El rastro del hombre en la tierra, por más lejos que nos remontemos a través de las edades, está determinado siempre por las armas, las herramientas y por la obra del fuego.

La piedra tallada.

Los primeros objetos cuyo origen puede atribuirse con seguridad a la industria humana⁴, son armas burdas, designadas por el nombre de "golpe de puño" o "bifaces"⁵, Estas piezas eran logradas desprendiendo, por percusión de grandes piedras, fragmentos de dos caras opuestas de un pedernal o de un guijarro de gran tamaño⁶.

En la técnica primitiva se utilizaba únicamente el "núcleo" de pedernal o del guijarro, pero muy pronto fueron usadas también las astillas de aristas cortantes desprendidas del núcleo. En efecto, con ellas se podía obtener herramientas más finas y asimismo más variadas.

A esta nueva técnica, que originará verdaderas "industrias del cascajo", se agregará luego una variante muy importante: la industria de las lascas. Esas láminas se las obtenía mediante el uso de guijarros o trozos de pedernal "de forma ovoide y de diámetro relativamente pequeño"; otro fragmento de pedernal se usaba como percutor.

⁴ En una época en que la humanidad no estaba representada por un hombre semejante al que conocemos actualmente (homo sapiens), sino por un ser mucho más primitivo (homínido)

⁵ Opuesto a esta teoría, Leroi-Gourhan identifica las "bifaces" con el cuchillo destinado a cortar, herramienta para todo uso como el machete.

⁶ El cuerpo que se obtiene del núcleo residual tiene generalmente forma "amigdaloides" cuyo ancho puede alcanzar a 20 o 25 cm. La punta, cuidadosamente tallada, sirve como herramienta, mientras que la parte opuesta parece estar concebida para ser tomada fácilmente con la mano (de ahí el nombre "golpe de puño") o usarse con una guarnición o empuñadura de cuero o de fibras vegetales trenzadas.



FIG. 1. Trabajo del pedernal (LEROI-GOURHAN).



FIG. 2. Golpes de puño (frente y perfil) (ARAMBOUR).

Las trozos que se desprendían paralelamente al eje mayor tenían forma de lámina más o menos estrechas y alargadas con las que, después de ciertos retoques (en los bordes, aristas y caras), se podía lograr una serie de instrumentos tales como raspadores, barrenillas, puntas de dardos o flechas, etcétera.⁷

El trabajo del hueso.

El pedernal y la piedra dura fueron los materiales preferidos por el hombre prehistórico, pero es probable que desde las épocas más remotas haya utilizado también el hueso, por lo menos en su forma bruta. Sin embargo, sólo mucho tiempo después empezó a trabajar sistemáticamente el hueso. Las industrias

⁷ La industria de las lascas predomina durante los últimos glaciales de la época cuaternaria y durante los períodos de retracción de los glaciares, es decir, durante el período prehistórico llamado paleolítico superior.

correspondientes no alcanzan su desarrollo hasta el fin de la antigua edad de piedra (época llamada magdalenense, a fines del paleolítico superior). La variedad de herramientas de hueso (punzones, agujas provistas a menudo, de ojo, espátulas, puntas de armas, anzuelos, arpones, etc.) y su perfección están de acuerdo con la abundancia y perfección de las obras de arte de esa misma época: grabados, dibujos, pintura de animales, famosas por la expresión de vida y movimiento, por su estilo realista y preciso y por la seguridad de ejecución que revelan.

El fuego.

Las armas y los instrumentos no son los únicos vestigios de la presencia humana. Las huellas de habitación y de suelos preparados o cavados se tornan significativas cuando están impresas por el fuego. En efecto, si bien el animal puede, como el hombre, cavar o preparar su habitación, sólo éste es capaz de emplear y conservar el fuego. Restos de comidas, huesos carbonizados, cenizas de hogares milenarios, demuestran que el hombre, exclusivamente, fue de los habitantes del globo el que supo dominar desde los orígenes este elemento temible. Los "mitos" primitivos, las leyendas religiosas y las primeras ficciones de los poetas immortalizaron la conquista del fuego, fuente de nuestro poder y de nuestros tormentos. Las torturas de Prometeo, símbolo del genio humano y de sus sufrimientos, fueron el rescate pagado por la audacia primitiva de los hombres que robaron el fuego al cielo. En efecto, según esta tradición⁸, el fuego conservado tan celosamente en la tierra, tendría un origen celeste. Proveniría de los efectos del rayo, cuyo relámpago — manifestación temible de las potencias cósmicas— ilumina los bosques.

A pesar de la fuerza y de la belleza de estas evocaciones religiosas, a pesar de la autoridad de los poetas, tenemos sólidas razones para pensar que el hombre aprendió muy pronto a encender el fuego con sus propias manos, con los más humildes materiales esparcidos a su alrededor en la tierra⁹.

Mucho antes, sin duda, de comenzar la historia humana se utilizó la chispa de pedernal para encender el fuego; aunque parece que el método más antiguo para

⁸ Tradición que se perpetuaba en Roma, por ejemplo, en las funciones de las "vestales" guardianas del fuego sagrado.

⁹ Observando a los hombres primitivos, es decir, a aquellos cuya vida material está aún en las primeras etapas del desarrollo técnico, podemos distinguir entre lo que el hombre, generalmente por motivos religiosos, elige como fuente tradicional del fuego y lo que realmente sabe hacer con sus manos para obtener y mantener la llama.

obtenerlo sea el de frotar la madera. Una de las primeras experiencias técnicas que tuvo que afrontar el ingenio del hombre debió ser el trabajo de la madera; de ahí que el frotamiento de maderas debió originar el fuego.¹⁰

Es menester, empero, un esfuerzo intelectual para comprender el valor de este elemento y la gran importancia de poder encenderlo voluntariamente. La necesidad de trabajar la madera, la utilidad evidente del fuego que se origina espontáneamente al realizar el trabajo y facilita a veces la tarea, impulsaron tal vez la imaginación del artesano¹¹.

El hombre, desde sus orígenes, captó este elemento y pudo multiplicar sus experiencias. En la conquista del fuego estarían, en potencia, todos los progresos de la técnica humana: desde el cocimiento de los alimentos hasta la metalurgia.

Fuente de luz, el fuego fue para los primeros hombres un Centro de reunión; les permitió además proseguir sus trabajos y sus entretenimientos después de la puesta del sol¹². Al proteger de las fieras el campamento o refugio, la luz artificial creó el primer islote de seguridad. La vida en común pudo así perfeccionarse; todos nuestros progresos morales y sociales, así como nuestros progresos materiales, ardían en la llama del primer hogar.

Esta concentración de potencias bienhechoras y de efectos a veces terroríficos impresionó la imaginación primitiva. El fuego, objeto de temor y de veneración, en el que se asocia la majestuosidad solar con las emociones más íntimas de la naturaleza humana, apareció como la realización inmediata de un poder sobrehumano: la señal de todo lo que en el hombre, y en lo que lo rodea, va más allá de la vida, de todo cuanto puede aspirar¹³.

El lenguaje.

¹⁰ Es posible que ceremonias colectivas, prácticas de magia y una inclinación psicológica a la reproducción de ciertos ritmos naturales cumplieran una función en esta adaptación de la acción humana a todas las posibilidades del frotamiento.

¹¹ Sea como fuere, hacer una ranura en un trozo de madera mediante un movimiento alternado de adelante hacia atrás; serruchar una cana con otra; agujerear un trozo de madera haciendo girar una astilla entre la palma de las manos, eran los procedimientos que los hombres primitivos utilizaban para encender el fuego y aún hoy forman parte del arte del carpintero y del ebanista.

¹² En efecto, la oscuridad impide al hombre primitivo el uso de la mímica indispensable para hacerse entender. Es además una fuente de profunda angustia.

¹³ Con el descubrimiento del fuego el hombre pudo transformar mucho las materias que lo rodeaban cuando trabajó con ellas desde el exterior. Ahora bien, el animal no puede realizar esta clase de transformaciones; sólo puede modificar las sustancias por sus propias secreciones.

Mientras el fuego y la herramienta daban al hombre la llave de las transformaciones materiales, es decir, el secreto de la acción sobre el mundo exterior, la palabra lo haría dueño interior de sus actos y por consiguiente de su propio pensamiento.

En efecto, la palabra, grito de advertencia o de mando fue al principio un sustituto de la acción: una fracción inmaterial del trabajo ejecutado en común. Por esta razón fue tal vez la primera técnica del hombre. Rara y excepcional al principio, la palabra se desarrolló para facilitar la "transmisión" de las órdenes, el análisis de los trabajos en el espacio y la descripción de los hechos en el tiempo. Su importancia se torna decisiva cuando el individuo advierte que puede ser su propio oyente: oyente silencioso y secreto, pero extraordinariamente atento y eficaz. De este modo, gracias a la palabra interior, el hombre ha llegado a ser lo que es, un ser que "habla" sus acciones y que "ejecuta" sus palabras.

Capaz de recordar los actos pasados y de hacer interiormente la mímica de todos sus nuevos actos antes de ejecutarlos, el hombre ya no es sólo un animal inteligente, es un animal que sabe y quiere ser inteligente, que puede "pensar" su conducta. De esto resulta que la concepción del fin que se desea alcanzar se liga netamente con los medios empleados: la voluntad de actuar, con la técnica de la acción.

Las obras del instinto mecánico de los primeros hombres son muy diferentes de las producciones del instinto animal. Las técnicas primitivas, reveladas por las investigaciones de la prehistoria, permiten formarnos un alto concepto de nuestros lejanos antepasados.

Capítulo 2

El instinto "mecánico" de los primeros hombres

Desde las primeras manifestaciones de su presencia sobre la tierra, el hombre se revela técnico. Su ingenio abre todos los caminos la acción sobre el medio exterior; desde que se anticipa al conocimiento de las leyes mecánicas y físicas, establece las bases de todas nuestras técnicas.

Prueba de ello es el trabajo de la piedra que, iniciado en los primeros trozos de pedernal, alcanzará las formas más puras y definidas. A nuestros lejanos

antepasados debe atribuirse también muchas otras técnicas de las que no quedan rastros materiales pero cuya influencia ha sido evidente, a través de todas las edades, hasta en el patrimonio "cultural" de los pueblos más primitivos de nuestra época.

Es lógico pensar que el uso de la madera debió preceder y luego acompañar las primeras formas características del trabajo de la piedra tallada.

En efecto, las primeras herramientas no son más que una prolongación del brazo, un refuerzo y una especialización de la mano: los monos también saben usar "prolongaciones, palos para arrancar frutos u objetos. La intervención del hombre se manifiesta por la constante adaptación de esta prolongación; por una parte, a la "mano universal", es decir, a la mano que la utiliza, y por otra parte, al acto final que se debe ejecutar.

Las percusiones.

Se inicia de este modo un enorme progreso mecánico en el uso primitivo de las herramientas de percusión. El martillo (desconocido, según parece, por los hombres de la época de la piedra tallada) al golpear sobre una pieza fija transmite el efecto de percusión y hace la síntesis de dos viejas ideas técnicas: la idea de percusión apoyada (cuchillo y rasqueta, por ejemplo) y la idea de percusión lanzada (la mano sujeta y arroja la herramienta, en dirección de la materia que desea transformar). Para que el efecto producido sea mayor, el hombre se verá obligado además a especializar la cabeza de la herramienta, según quiera romper, aplastar, agujerear o cortar y tallar; también buscará los medios más prácticos de realizar el trabajo que se propone. Por último, para aumentar el rendimiento de su propia fuerza muscular, el trabajador tratará de que sea mayor el peso útil y de repartir mejor los esfuerzos realizados. El hombre primitivo encontró así distintas formas de la palanca cuyo concepto claro descubrirá la ciencia griega, pero que se usaba ya en las viejas técnicas. El palo cavador puede ser el origen; en todo caso la tiradera representa ya una aplicación dinámica notable.¹⁴

¹⁴ La tiradera rígida, utilizada todavía por los hombres primitivos para lanzar los dardos, tiene por objeto multiplicar el alcance del lanzamiento aplicando el mecanismo de la palanca. Es un palo circular, a menudo macizo y terminado por un gancho de apoyo, a veces acanalado y rematado por un talán hueco en el que, para ser lanzado, se apoya la base del dardo.

El frotamiento.

Una de las "ideas mecánicas" más antiguas, contenidas implícitamente en los esfuerzos de la prehistoria, se refiere al uso del frotamiento. Indispensable para retocar los primeros instrumentos de piedra tallada, el frotamiento es también la base de las técnicas más importantes y útiles para la vida diaria. El lazo, el nudo, son todavía para nosotros manifestaciones sensibles de esos primeros usos del frotamiento. Encontraremos en este camino todos los progresos del entrelazado, de la trenza, del tejido indispensable a nuestras civilizaciones.

El modelado.

La técnica del modelado, así como el empleo de ciertas propiedades del agua y de las materias fluidas, es una conquista de la prehistoria. Esta técnica, a la que el arte prehistórico debe, entre otros, los dos magníficos bisontes de arcilla del Tuc d'Audubert, en Ariège (modelados por un artista del período paleolítico superior), prepara el importante descubrimiento y posterior desarrollo de la alfarería.

Las trampas.

Desde las épocas prehistóricas se empleaban la gravedad, la elasticidad y la palanca en la fabricación de celadas muy ingeniosas, especialmente nasas y trampas. Algunos artilugios (por ejemplo las trampas con escotilla) constituyen el germen lejano de las más perfeccionadas máquinas construidas por el hombre: las máquinas reflejas¹⁵. La fosa, donde nuestros antepasados prehistóricos capturaban grandes animales salvajes, representa el primero y tal vez el más ingenioso empleo que de la gravedad hizo la inteligencia humana en su lucha contra el poder "aplastante" del animal.

¹⁵ JACQUES LAFITTE (Reflexons sur la science des machines, Pág. 68) llama máquinas reflejas a aquéllas cuyo funcionamiento se modifica por sí mismo "según indicaciones, percibidas por las mismas máquinas, de determinadas variaciones en algunas de sus relaciones con el medio que las rodea". Por ejemplo: El torpedo automático, el motor que por sí mismo modifica su régimen. según las percepciones de su regulador, el faro automático, etc. Las máquinas simplemente adivas, es decir aquellas cuyo funcionamiento está determinado "por un flujo exterior que las mismas transforman o transportan" y que no están dotadas de propiedades reflejas (la lupa, el cepillo, la herramienta en general hasta las máquinas operatorias compuestas) son menos perfeccionadas. En último término aparecen las máquinas pasivas ("orgánicamente independientes de los flujos de energía exteriores" como los postes, los refugios primitivos y la mayor parte de las construcciones arquitectónicas).

Capítulo 3

Arte, medicina y cirugía

El hombre no limitó sus esfuerzos a esta extraordinaria investigación "mecánica" de cuanto lo rodeaba. Desde los orígenes parece haberse interesado extraordinariamente por el misterio de la vida, no tanto para comprenderla sino para defenderla y prolongarla. Por esta razón los primeros hombres asociaban estrechamente la magia y la religión con sus técnicas, su vida social y sus creaciones artísticas. Los vestigios más notables de esta comunidad de inspiración que subsiste todavía entre los pueblos primitivos, están en las dos grandes creaciones técnicas de la prehistoria: La cirugía¹⁶ y el arte.

Los primeros hombres manipularon, buscaron los resortes de la vida con una paciencia, una perspicacia, una pasión y un ardor profundos, cuyo origen se nos escapa y cuyas manifestaciones nos desconciertan.

Capítulo 4

El mundo neolítico y la aurora de la civilización

Diez o Veinte mil años antes de nuestra era, con el retroceso de los últimos glaciales, el clima de Europa se atemperó. Las grandes fieras desaparecieron, los hombres se establecieron en campamentos, fuera de las grutas y cavernas, y comenzaron a cultivar la tierra y a domesticar los animales. En ese periodo, llamado periodo neolítico o nueva edad de piedra, surgieron las bases técnicas de nuestras civilizaciones.

Extensión de las técnicas primitivas.

El período neolítico se caracteriza por la notable extensión de las técnicas primitivas. Éstas deben adaptarse a los nuevos géneros de vida y satisfacer las más variadas necesidades. Surgen así nuevas aplicaciones, especialmente en el campo

¹⁶ La caza, para la que seguramente se preparaban con danzas mágicas ejecutadas ante la imagen de la presa y de sus partes vulnerables, presentaba grandes riesgos. Aún quedan indicios de intervenciones quirúrgicas graves, realizadas con éxito, casos de fracturas; por ejemplo. Pero la técnica más extraordinaria de la prehistoria es la de la "trepanación", operación a veces terapéutica pero generalmente realizada con fines mágicos, tradición que, en ese aspecto, persiste en algunos pueblos primitivos de nuestra época.

de las herramientas (ejemplos: sierras, trinchetes, hoces), y nuevos procedimientos técnicos, de los cuales, los más importantes son: la piedra "pulida" y la alfarería cocida en el fuego.

La piedra pulida.

La piedra pulida se obtiene por el amolado de un objeto antes sometido a un tosco tallado mediante la piedra de afilar. La elaboración se realiza mediante golpes de percutor aplicados perpendicularmente a la superficie. El pulido, único método por el que se puede obtener una superficie cortante, se logra frotando la piedra que se quiere pulir contra una superficie abrasiva (trozo de roca abrasiva que descansa sobre el suelo o un simple soporte cubierto con arena como abrasivo) o bien resulta del roce de la herramienta, que se la fija sobre un pequeño trozo dirigido con la mano. Esta nueva técnica es sin embargo un método de aproximación. El artesano se siente en cierto modo dueño de su trabajo; dueño de controlar su esfuerzo hasta alcanzar el grado deseado. Ya no corre el riesgo de anular con un mal golpe el resultado pacientemente obtenido, cosa que seguramente debía ocurrir con frecuencia al tallar la piedra.¹⁷

La alfarería.

En la alfarería se une el arte del fuego con el modelado de la arcilla. Esta innovación parece estar estrechamente ligada al desarrollo de la vida agrícola y a la atracción general que la tierra ejercía sobre el hombre neolítico. En efecto, en ésta se concentra entonces el interés de la actividad técnica y de las tradiciones colectivas. Inmensos progresos dependen directa e indirectamente del arte de cultivar la tierra.

El cultivo de la tierra¹⁸.

Los primeros instrumentos destinados al trabajo de la tierra, después del antiguo palo que se usaba para desenterrar las raíces, fueron el plantador y la azada¹⁹, es

¹⁷ Por otra parte, desde el punto de vista puramente psicológico, el papel de la herramienta en la imaginación es el de inspirar una gran confianza interior. Cf. G. BACHELARD, *L'air et les Songes*, Pág. 134: "Las herramientas... evocan ensoñaciones específicas, casi siempre saludables, energéticas, ensoñaciones de trabajo."

¹⁸ Si entendemos por "agricultura" el complejo "agricultura-ganadería" (pues las dos técnicas parecen inseparables desde un principio), la conquista de la agricultura representa "el hecho más importante", la más sorprendente revolución técnica que haya conocido la humanidad hasta ahora.

decir simplemente el azadón de hoja transversal, concebido según el mismo principio de la cazuela (ver Pág. de, nota 1) el desarrollo del arado será característico del advenimiento de las civilizaciones superiores.

La dedicación del hombre al trabajo de la tierra, el cultivo de las plantas comestibles y textiles, la domesticación y cría de los animales, la alfarería, el cocimiento y preparación de los alimentos, el hilado y los comienzos del tejido, favorecerán el desarrollo de una vida material más amplia y segura. La metalurgia y los transportes se agregan a este balance de las bases técnicas de nuestras civilizaciones.

La metalurgia.

Todos los pueblos de la nueva edad de piedra han tenido una metalurgia embrionaria. Esto no significa que esa época conociera técnicas metalúrgicas. En realidad solo fueron utilizados metales y especialmente oro nativos.

La metalurgia es una síntesis. Supone el uso coherente de un conjunto de procedimientos²⁰, y no el empleo de una herramienta única. Su verdadero origen es aún desconocido.

Al principio el metal resultaba tan escaso que únicamente las armas se forjaban; las herramientas ordinarias todavía eran de piedra o de madera. El cobre, el bronce, el hierro, no remplazaron de golpe la piedra. Instrumentos de piedra e instrumentos metálicos coexistieron hasta el principio de los tiempos históricos y en algunos casos hasta nuestros días.

Los itinerarios y los transportes.

En la evolución de los itinerarios se observa también una continuidad; el trazado de algunas de nuestras rutas nacionales se remonta a la prehistoria. Desde la época neolítica se nota un progreso notable en los medios de transporte; la piragua, hecha

¹⁹ Primera expresión de la estabilidad humana, el trabajo con azada se adaptó naturalmente a la domesticación de las especies vegetales. La cosecha, el almacenamiento de semillas, significaron que algunas especies vegetales, muchas de ellas útiles, se fijaran por sí mismas cerca de las habitaciones humanas donde la tierra, primero naturalmente removida y luego voluntariamente trabajada, brindó la ocasión, que el hombre supo aprovechar, de crecer y multiplicarse.

También algunos animales (el perro en primer término) se acercaron espontáneamente al hombre, que acabó por explotar esta tendencia y que aprendió luego a domesticar algunas especies salvajes.

²⁰ En efecto, en la forja entran en juego las percusiones (martillo), el fuego (hogar), el agua (temple), el aire (soplado) y los principios de la palanca.

de una sola pieza de madera (tronco de árbol ahuecado), se asemeja mucho más a nuestros navíos que a la jangada primitiva o a los primeros árboles flotantes. Los animales de carga, el uso de la tracción animal, representan, en comparación con el transporte humano, un progreso extraordinario cuyos principios, completados con el empleo de la rueda, no serán decisivamente perfeccionados hasta la Edad Media. Después del período neolítico el desarrollo de la civilización continúa a través de una serie de culturas caracterizadas por un conjunto más o menos puro de técnicas fundamentales.

El uso del cobre, del bronce, y del hierro más tarde, se define poco a poco en la evolución de esas culturas, sin introducir bruscas modificaciones. El fin de la prehistoria no es más que la continuación de una experiencia varias veces milenaria que sucede, a su vez, a experiencias mucho más lentas y lejanas.

Con esta herencia la antigüedad forjará maravillosas civilizaciones. Estas enseñarán al hombre a juzgar sus propias obras aunque no transformarán las bases de su técnica. Únicamente Grecia, con sus inventos, encaminará a la humanidad por una nueva senda, la de la ciencia y sus aplicaciones, desarrollo prodigioso de las inspiraciones primitivas del hombre técnico.

Segunda parte

Sabiduría industrial de la antigüedad

Capítulo 5

Potencia técnica de los grandes imperios

El comienzo de las civilizaciones antiguas está íntimamente ligado al progreso de los trabajos agrícolas. El agricultor, apegado a la tierra que explota, profundiza los fenómenos de la germinación y del arte del cultivo. Defiende, desarrolla y finalmente impone los principios de la civilización: el trabajo, la sujeción al ritmo de la naturaleza, el espíritu pacífico, la acumulación de riquezas en provecho de las generaciones futuras, el sentido de las tradiciones intelectuales o religiosas. Los depositarios de esas tradiciones, juntamente con los que detentan el poder y la flaqueza, se agrupan en ciudades que se nutren del trabajo de las aldeas. Estas ciudades dirigirán el comercio, la industria, el arte de la vida social, en ellas se fijarán las tribus y se agruparán en inmensos organismos administrativos. De este modo, sobre bases pastoriles y agrícolas, fueron constituidas las civilizaciones de los grandes imperios.

En el mundo antiguo, las primeras tierras, suficiente y metódicamente cultivadas para servir de base a esas civilizaciones, se encontraban en tierras bajas y en las márgenes de los grandes ríos (Nilo, Tigris y Éufrates, Indo y Ganges, Río Amarillo). Gracias a las crecidas periódicas, que depositaban un limo fértil, la economía agrícola resultó relativamente fácil, por su excepcional rendimiento. Sin embargo, las grandes obras hidráulicas indispensables sólo pudieron ser realizadas porque la mano de obra era abundante y el poder político muy fuerte. En efecto, en esa época la agricultura se basaba en el riego metódico. El uso de la azada, primero, luego el del arado (sin ruedas) con lo que se obtuvo la continuidad en el cultivo y más tarde el empleo de cierto, animales domésticos, todo ello posibilitó la tracción del arado y

el abono del suelo. Para la cosecha lo primero fue el empleo de hoces de madera²¹ o de barro cocido, provistas de dientes de sílice, muy afilados, y más tarde hoces metálicas.

Egipto.

Egipto nos ofrece el ejemplo extraordinariamente sugestivo de una civilización agrícola "racionalizada". El Nilo, con su crecida "regulada" al determinar de uno a otro extremo el curso ordinario de la vida agrícola, rige el formidable mecanismo de toda la vida social correspondiente. Comparable, por el papel vital que representa, con la reina de un nido de termitas o de una colmena de abejas, el faraón se tornará en símbolo encarnado, en soporte vivo del sistema periódico de la producción egipcia: ciclo del año, del crecimiento de los vegetales, de la multiplicación de los hombres.

La disciplina de esta civilización y su técnica extraordinaria, capaces de dominar la independencia de la vida, se manifiestan de modo sorprendente en enormes monumentos funerarios y religiosos, como las pirámides o las esfinges.

Estos colosos, cuya construcción eligió el esfuerzo y a menudo la vida de muchos miles de trabajadores, nos demuestran que los egipcios tenían gran experiencia en la construcción y un conocimiento notable de las leyes del equilibrio. Los muebles, jarrones, cristalería, géneros, alhajas, encontrados en las tumbas particulares, revelan su gran habilidad manual y un gusto artístico delicado: surge así en nuestra mente la visión de una humanidad refinada, y jerarquizada en extremo, dueña absoluta de su forma industrial.

Progresos de la metalurgia y de la alfarería.

Egipto, como Mesopotamia, India y China, fue centro de una civilización, es decir, de cultura humana superior. Esos centros han estimulado siempre la evolución de las técnicas antiguas, e innovado, inclusive, en técnicas nuevas. Un ejemplo de ello es el progreso alcanzado por la metalurgia y en especial por la metalurgia del

²¹ 21 Los jeroglíficos y las paredes de las tumbas nos dan una imagen sorprendente de esta civilización egipcia, tan rica y sin embargo tan uniforme: Imagen técnica y casi estilizada de la naturaleza humana. Cazadores que lanzan sus boomerangs o que tienden sus redes; conductores de asnos en fila y de tropillas de vacas; cosechadores con hoces, vendimiadores y prensadores de racimos (en las cubas, con el pie, o en una, tela retorcida), casi todos evocan una regla de acción inmutable, son como autómatas dentro de un inmenso mecanismo humano, vigilados por el escriba arrodillado y el intendente con su bastón

hierro. "Entre los años 6.000 y 3.000 a. de C., desde Egipto a Mesopotamia y al Indo, se ve aparecer simultáneamente objetos de hierro... En esa época, mientras en el resto del mundo todavía se tallaba y pulía la piedra, en Mediterráneo oriental y en Asia occidental existían ya las complicadas y poderosas herramientas de fundición y forja.

Los progresos de la alfarería dependen de la regulación del fuego y en cierta forma de la invención de la rueda²². Los primeros trabajos de alfarería, contemporáneos de los de la piedra pulida y a veces anteriores a los mismos, estaban hechos a mano y cocidos a fuego abierto. Pero la alfarería fina y regular, en la que sobresale el genio de China, Mesopotamia y Egipto, requiere el conocimiento del horno y la posibilidad de regular su temperatura. Entre los procedimientos de producción de alfarería, la rueda se introducirá por la notable creación del "torno de alfarero"²³.

La arquitectura y el tejido.

Los hombres de estas civilizaciones, para expresar la grandeza y eternidad de sus reyes y de sus dioses, quisieron Construir edificios durables, de proporciones imponentes, con ladrillos y luego con piedra, que remplazaron la madera, el barro y la paja de las construcciones ligeras.

La vestimenta y la tintura alcanzaron también extraordinaria magnificencia. La perfección de los resultados obtenidos buscando materiales hermosos y el gusto de las formas armoniosas contrasta notablemente con la simplicidad aparente, por no decir con la "rusticidad" de los antiguos instrumentos textiles.

Esta simplicidad es sólo aparente: encierra un progreso técnico inmenso. En el telar antiguo —telar de mano— está ya la simiente de todos los perfeccionamientos de nuestras máquinas automáticas. En efecto, la "idea mecánica", esencial en nuestros

²² En comparación con las grandes técnicas primitivas, la rueda es relativamente reciente. Quizás deriva del transporte de troncos de árboles y del acarreo de cargas sobre esos troncos. Tal vez en un principio se asoció las ceremonias religiosas, a los mitos solares y a la astronomía primitiva. Sin embargo su uso extendió hasta que empezaron a usarse animales de tiro, y sólo alcanzó su verdadera importancia en la Edad Media, con la invención del arnés de lomo. En Egipto, donde seguramente se usaba la polea, se conoció la rueda sólo como instrumento de transporte con los carros de guerra de ciertos pueblos que lo invadieron (hacia el año 3.000 a. de C.): Los Hicsos. La invención de la rueda es a todas luces anterior a esta fecha.

²³ Éste presenta entre los pueblos primitivos, y en la historia, diversas formas: Simple bandeja que gira a mano; bandeja montada sobre un eje; bandeja que gira regularmente merced a la acción de un volante, y deja libre el brazo del alfarero. El USO del torno, es decir de la rueda, representa, por su comodidad de manipuleo, un gran progreso técnico, pero no está necesariamente ligado a la evolución de la alfarería.

instrumentos²⁴ ya la había puesto en práctica el hombre de aquella época, con los primitivos medios a su alcance. Esta idea consiste en simplificar el trabajo del tejido separando de una sola vez todos los hilos entre los cuales tiene que pasar la lanzadera en cada una de sus idas y venidas.

El telar.

El tejido se obtiene entrecruzando regularmente los hilos. Esta operación se realiza con un aparato, vertical u horizontal, o sea un telar, en el que, sobre una capa de hilos colocada anteriormente (cadena), se hace pasar hilos transversales llamados de trama, que se introducen uno tras otro en la cadena. Los hilos se cruzan como en el tejido de mimbre cruzado, tal como en un damero²⁵.

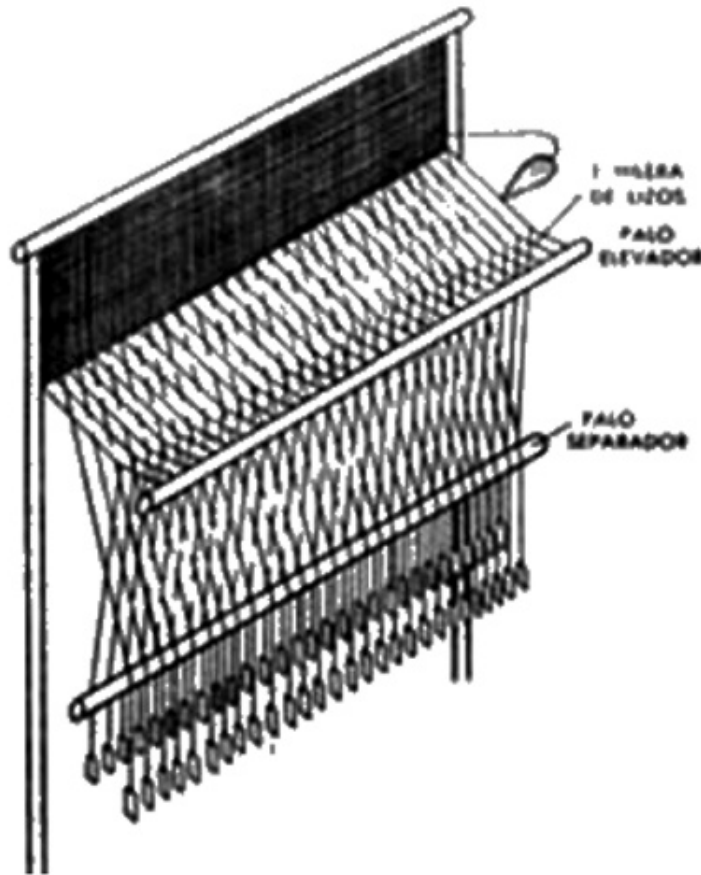
Uno de los telares más primitivos está formado por dos palos fijos verticalmente en el suelo y unidos en la parte superior por un palo transversal: los hilos de cadena están suspendidos del palo transversal y mantenidos en tensión por medio de pesas. El hilo se introducía a mano y más tarde por medio de una varilla.

La mejora más fácil de imaginar y de realizar consiste en hacer pasar de una sola vez el hilo de trama. Para esto es suficiente mantener separados del plano del cuadro por ejemplo todos los hilos pares de la cadena, mediante un simple palo separador. Pero de este modo se adelanta sólo el trabajo de la mitad de los hilos de trama que hay que pasar. Los otros, para deslizarse deben pasar por encima y por debajo de la cadena²⁶. El gran progreso técnico complementario consiste en atar cada hilo impar de la cadena, no a un palo separador (que sería inútil esta vez) sino a un cordón flexible c perpendicular al plano de la cadena. Este progreso técnico se utilizaba ya en los más antiguos telares de Grecia y lo vemos claramente reproducido en la decoración de algunos jarrones.

²⁴ Idea que en el telar de pedal se realiza por el mecanismo de los "lizados" (devanadores) animados de movimiento ascendente y descendente

²⁵ Si el primer hilo de trama empieza pasando por encima del primer hilo de cadena, el segundo hilo de trama empieza pasando por debajo del primer hilo de cadena

²⁶ Estos cordones tiran cada hilo impar y permiten separarlos todos juntos en ambos lados del plano de los otros hilos de cadena, es decir, de los hilos pares. Tirando de golpe el conjunto de los cordones por medio de un palo elevador se deja, entre los hilos pares y los impares, el nuevo paso necesario al hilo de trama.



El telar llamado de Circe, y más claramente aún el de Penélope, son de este tipo. A Penélope se la representa sentada en una actitud de abandono que refleja su cansancio, cerca de su gran telar vertical —de la altura de un hombre— cuyo funcionamiento recuerda al de los telares indígenas del norte de África²⁷.

²⁷ La cadena es una capa de hilos verticales mantenidos en tensión por medio de pequeñas pesas de cerámica. Entre los hilos pares y los impares se introduce una caña como separador; los hilos pares caen delante de la caña, los impares detrás. Delante de la doble capa de hilos se coloca un palo transversal, el palo de lizo (es decir el palo elevador del esquema anterior). Cada hilo impar está sujeto al mismo por medio de un cordoncito. El conjunto de estos cordoncitos forma el lizo, es decir una corta capa horizontal sujeta por un extremo al palo de lizo y que capta en el otro extremo todos los hilos impares de la cadena, sin mezclarlos y dejando sueltos todos los hilos pares. La tejedora, al tirar hacia sí el lizo, coloca los hilos impares delante de los pares. Mediante una lanzadera pasa el hilo de trama horizontal en la especie de bolsillo formado de ese modo. Luego, dejando caer el lizo para que los hilos impares vuelvan a su Sitio, pasa, en sentido inverso, el hilo de trama entre las dos capas de hilos separados por la caña separadora.

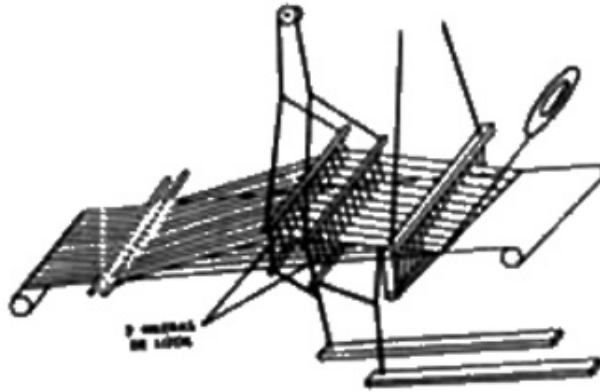


FIG. 7. Esquema del telar moderno horizontal de pedal (LEROY-GOURHAN).

Este alto telar, por su aspecto arcaico era, sin duda para los griegos, una evocación sensible de sus orígenes: testigo de épocas lejanas, cuando antiguas civilizaciones habían transmitido los restos de una misteriosa sabiduría y sobre todo el tesoro de sus conocimientos técnicos.

Capítulo 6

El milagro griego

Los orígenes.

En todos los dominios²⁸, pero especialmente en el de las técnicas industriales, las civilizaciones de Egipto y Mesopotamia fueron maestras de Grecia. El milagro griego no surgió de la nada. Los griegos recogieron primero y luego conjugaron mutuamente dos herencias: la herencia positiva de las técnicas industriales y la herencia mística de los sueños, religiones y mitos de Oriente. Lo maravilloso es ver cómo, del encuentro y choque de esas tradiciones, nace un espíritu nuevo: el espíritu de la ciencia cuyo ideal consiste en juzgar todo con entera libertad y en descubrir la verdad.

Cuando pasamos del arte egipcio al arte griego, de los telares y ritos del Nilo a la vida del artesano heleno, observamos una transformación tan profunda que

²⁸ Los griegos adoptaron el alfabeto fenicio derivado de la escritura pictográfica. Los fenicios, entre otras técnicas, generalizaron el uso de la moneda.

tenemos la impresión de que, al cambiar de espacio, hemos cambiado también de humanidad. Egipto nos ofrece con harta frecuencia la misma serie de individuos impersonales, estáticos en el acto en que los consagra la sociedad: la actitud corporal del más humilde esclavo que corta el tallo del trigo está casi tan rigurosa y tan "hieráticamente" definida como la del faraón que aúna las potencias del cielo y de la tierra.

Esta procesión de muy hermosos y muy trabajadores autómatas humanos se contrapone a la imagen griega del trabajo²⁹ que nos muestra la actividad alegre y la libertad, sin desorden, de una muchedumbre: una sociedad de hombres que trabajan sin cesar pero cada uno a su gusto, con la independencia y el espíritu burlón de los que dominan y valoran su trabajo.

Búsqueda de la perfección técnica.

El genio griego crea una verdadera familiaridad espiritual entre el escultor, el alfarero, el artesano y sus dioses. En un jarrón está representada Atena Ergane, la patrona de los obreros: avanza, invisible, con una corona hacia el dueño del taller. En otra parte la diosa sorprende al buen artesano (grabador o joyero) en su establecimiento. Éste ofrece el trabajo de sus manos, con un gesto que, por su confianza y sencillez, resulta augusto. Las "ergastinas", esas obreras de familias nobles que tejían las vestimentas de Atenea cuya belleza religiosa y severa está inmortalizada en el friso del Partenón, expresan admirablemente lo que fue en Grecia el genio de la técnica: la búsqueda de la perfección en el hombre, en sus obras y en la imagen de sus dioses.

²⁹ Tal como aparece en la decoración de los jarrones

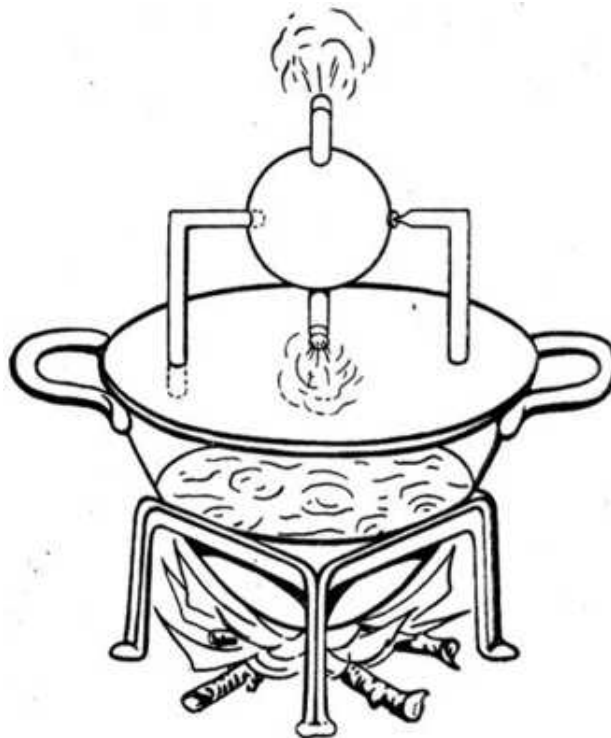


Figura 8. Turbina de vapor de reacción de Herón o esfera de Herón (Usher)

Idea de la ciencia pura.

Por esta búsqueda universal de la habilidad técnica³⁰, Atenas fue la gran escuela de precisión y de perfección tanto en el campo de las formas como en el de las ideas³¹. En efecto, la noción de ciencia pura, creación suprema del genio griego, se relaciona con el culto de la belleza y de la verdad. Concebir la existencia de las verdades científicas, con toda la fuerza demostrativa que les acordamos actualmente, esbozar la conquista de esas verdades en muchos campos y formularlas con matemática exactitud: estos grandes inventos intelectuales nacieron de las viejas técnicas, pero las superaron en profundidad y, por lo tanto, en potencia de acción. Con la ciencia,

³⁰ En Atenas pudo existir ese milagroso equilibrio entre la civilización agrícola y la expansión marítima gracias a la profundidad y a la universalidad de sus cualidades técnicas. Las leyes de Solón, primer convenio entre la riqueza y el trabajo, encierran también un código del desarrollo técnico. Algunas de ellas reglamentan la protección de los olivares y del ganado, la distribución del agua, la seguridad de los campesinos la separación entre las plantaciones. Una ley obliga a todos los atenienses a enseñar un oficio a SUS hijos.

³¹ La obra civilizadora de Atenas y los esfuerzos del genio griego en general impulsaron extraordinariamente las técnicas del espíritu, no solamente con el progreso alcanzado por las formas de expresión, sino también con el descubrimiento de procedimientos eficaces para el análisis de las operaciones intelectuales. La creación de la Lógica, de la Política y de la Moral, por ejemplo, el perfeccionamiento de los métodos de educación, representan, para la vida del espíritu, iniciativas técnicas tan importantes como lo fueron, en el campo de la materia, las primeras conquistas de la prehistoria o los perfeccionamientos realizados durante la civilización de los imperios.

nacida de las libres especulaciones de Grecia, el genio moderno podrá transformar radicalmente la condición industrial de la humanidad.

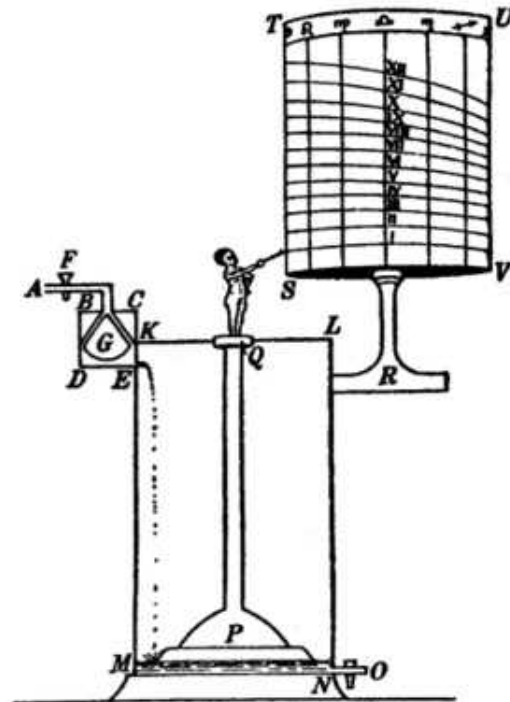


Figura 9. Reloj hidráulico (USHER). G cono de regulación de la corriente de agua

Capítulo 7

La invención griega

La matemática pura.

La civilización de los Grandes Imperios legó a Grecia, junto con el prodigioso material de sus adquisiciones técnicas, una cantidad de recetas, reglas de acción, conocimientos confusos, mezclados todavía con los fines prácticos que se proponía alcanzar. Estos conocimientos, a veces muy extensos, como las fórmulas de los comerciantes babilónicos o las normas de los agrimensores orientadores de los templos y calculistas de Egipto, eran simples recopilaciones de procedimientos empíricos en los que sólo figuraban las operaciones que debían realizar y las reglas

que había que aplicar para resolver tal o cual problema práctico³². Los griegos consagraron su amor por el trabajo perfecto, su gusto de perfección —de precisión— de pureza intelectual, su sentido de la belleza, a esta mezcla confusa de conocimientos. Desde el siglo VI a. de C. consiguieron aislar la idea de cantidad de las experiencias concretas en las que hasta ese momento estaba comprendida.

Mediante el estudio de las verdades puestas así en evidencia, los griegos, por sí mismos, extraen el resultado práctico que buscan las técnicas del número, de la forma general y demostrativa que sirve para alcanzar aquél. Podemos decir que descubrieron así la técnica general de esas técnicas, es decir la matemática pura, madre de todas las ciencias y de todas las aplicaciones.³³

En este extraordinario paso del empirismo a la ciencia desinteresada, fueron estimulados por la creencia, religiosa y artística a la vez, de que la pureza del pensamiento nos independiza y nos acerca a la sabiduría divina. Cuando el hombre de ciencia "vuelve las espaldas" a las necesidades prácticas, adquiere un poder extraordinario sobre las cosas y sobre sí mismo. Los griegos tuvieron un sentimiento profundo de la dignidad del pensamiento puro y del valor eminente de la contemplación. Gracias a este sentimiento pudieron superar el nivel intelectual de los pueblos vecinos dominados todavía por las necesidades materiales, los ritos y mecanismos de sus tradiciones. Sin embargo, por causa de este mismo sentimiento permanecieron dentro del pensamiento puro y, aunque hubieran estado en

³² En las tablas mesopotámicas que datan de 2.000 a 3.000 años a. de C., o en el manual del escriba Ahmes (hacia 1.800 a. de C.) no figura la fórmula general ni la demostración de los resultados. El texto suministra solamente el enunciado práctico del problema —el manejo de los números, es decir la "manipulación" útil de las cantidades y la solución. La solución es generalmente exacta, pero no está demostrada. Cuando el calculista da sólo una solución aproximada, no rinde cuenta y no puede hacer de la inexactitud del resultado ni del género de aproximación obtenido.

³³ De modo general podemos decir que los griegos, artistas de la forma, fueron ante todo matemáticos y geómetras. Las matemáticas —y el espíritu matemático— Son su gran contribución al tesoro de la técnica humana. Las consecuencias maravillosas de este aporte se manifestarían mucho tiempo después de la desaparición de la civilización griega. Sin embargo, durante esta misma Civilización, el perfeccionamiento de ciertas técnicas dejaba entrever ya la eficacia de la ciencia en la actividad práctica y en sus instrumentos. En efecto, los griegos depuraron y precisaron todas las ideas fundamentales en las que reposan nuestros procedimientos de medición (medición de longitud, volumen, masa, tiempo). La elección de las unidades, los métodos y los instrumentos adecuados para pesar y nivelar progresaron entre sus manos. La invención y la construcción de cuadrantes solares, perfeccionados con el uso de curvas matemáticas, dan una idea de la forma en que la ciencia penetraba en los detalles de la vida cotidiana. El primer aparato para medir el tiempo, adoptado empíricamente en épocas primitivas, era la sombra móvil de un palo o de un edificio: Instrumento sistematizado en forma de gnosnon (palo con un agujero o una bola en su parte superior que se inclina a voluntad para poder observar en forma precisa y continua la marcha de la sombra). El cuadrante solar, que por medios geométricos determina la superficie y la línea sobre la cual deberá formarse y desplazarse la sombra, alcanzó un alto nivel científico en la medición del tiempo. Los griegos participaron en los orígenes de nuestros aparatos modernos de medición inventando, o por lo menos perfeccionando, la clepsidra (de origen egipcio o babilónico), modelo de los relojes hidráulicos (ver Pág. 39, Fig. 9).

condiciones de hacerlo, nunca habrían aplicado sus admirables descubrimientos científicos a la actividad material.

Las actividades industriales.

A pesar de esta reserva fundamental, de ese desprecio de aristócrata y de artista hacia los fines utilitarios de la técnica y el trabajo manual, la inteligencia griega desde los orígenes sentía curiosidad por el mecanismo de los oficios. Los primeros pensadores que en el siglo VI a. C. trataron de describir y explicar los fenómenos meteorológicos por medio de imágenes copiadas de las artes y oficios, eran filósofos, sin duda, pero también jefes de Estado, ingenieros y algunas veces hombres de negocios. Con el nombre legendario de Tales de Mileto, por ejemplo, no sólo se relaciona la creación de la geometría y de la física, sino la historia del primer Trust de molinos de aceite³⁴. Hipódamos de Mileto fue geómetra y urbanista. Arquitas de Tarento, matemático y mecánico.

El arte militar.

Las proezas técnicas de esos iniciadores se relacionaban a menudo con el arte militar. La mecánica se aplicaba ya en el armamento, la balística y la defensa de las plazas. Sin embargo, el primer triunfo decisivo de la técnica griega, en el siglo VI a. C. es un triunfo pacífico; se trata de la perforación del túnel de Samos, realizada por el arquitecto Eupalinos³⁵.

Las técnicas del mar.

Entre las técnicas que requirieron el impulso inventivo del joven pensamiento griego figuran en primer plano las técnicas del mar³⁶. Pueblo de navegantes, los griegos inventaron nuevos tipos de embarcaciones. Aumentaron progresivamente la

³⁴ Se dice que Tales, cuando hubo previsto una buena cosecha de aceitunas, acaparó todos los molinos de aceite de Mileto, en Jonia, impuso el monopolio e hizo fortuna.

³⁵ Este túnel que se tiende en línea recta sobre una extensión de más de un kilómetro demuestra, con su trazado rectilíneo —que no admite comparación con los ensayos burdos de otros pueblos, la existencia de un método racional, es decir, la realización de cálculos previos a la obra y el empleo moderno de los instrumentos de trabajo. Aún en este campo puramente técnico Grecia, con su ciencia, eclipsa el poderoso empirismo de los constructores orientales.

³⁶ Según Tales, el agua (es decir la extensión marítima y el vapor que se desprende de la misma) es la materia original de la que derivan todas las cosas.

longitud y altura del caso y construyeron barcos con puente³⁷. Los griegos inventaron el ancla en el siglo VII a. C. Este invento, que complementa el cepo" (travesañ perpendicular al plano de las "uñas" o ganchos que se fijan en el fondo), fue decisivo. El ancla así perfeccionada, que se remonta hasta el siglo VI a. C. se usa todavía en muchos barcos de nuestra época³⁸.

El espíritu racional y civilizador de Grecia se manifestó en el arreglo de puertos, muelles, escolleras. Muchos rastros de estas obras, encontrados en las más lejanas riberas, son una prueba de la inteligente concepción y admirable realización técnica³⁹.

La mecánica.

El pensamiento matemático tuvo en Grecia una intervención decisiva como factor del progreso industrial con la creación de la mecánica racional.

Arquímedes, ingeniero y matemático genial, dilucidó completamente el principio general de la palanca, que se aplicaba instintivamente ya en los albores de la humanidad y cuya importancia lógica habían presentido filósofos y sabios de la escuela aristotélica⁴⁰. Cuando de esta vieja inspiración técnica extrajo una idea clara y una verdad científicamente probada, Arquímedes abrió un campo inmenso de deducciones, de las que podían surgir nuevos instrumentos de trabajo material (278 a. C.).

³⁷ En la época homérica los griegos tenían barcos de guerra y de carrera, largos y rápidos, accionados sobre todo por remos, y barcos cargueros, redondos y huecos. Durante los siglos VIII y VII A. C. los barcos de comercio aumentan su velamen y están provistos de remos auxiliares; por el contrario, el barco largo funciona principalmente por medio de remos y las velas se emplean sólo como auxiliares. Barcos de guerra, armados con un temible espolón metálico, dotados de cincuenta remeros precedían la friera (fines del siglo VIII) —tripulada por un equipo de hombres más numerosos (hasta 200 hombres en un barco de 3 metros de longitud) — que, por ser más veloz, era más temible en el ataque. La coordinación de movimientos entre los remeros, las maniobras reguladas al son de la flauta, la jerarquía de las órdenes, hacen que el comandante de la triera (el trierarca) tenga entre sus manos un instrumento de poder y docilidad extraordinarios, que responde a la mano que lo empuña. También la triera es designada la Alada, la Voladora, el Venablo, la Lanza. Precisamente una de ellas fue bautizada por su constructor con el nombre de Tecné, el Arte, es decir la perfección de una técnica madura.

³⁸ Las técnicas navales originaron naturalmente el progreso de otras técnicas. Seguramente el perfeccionamiento de cabrias, cabrestantes y poleas se realizó simultáneamente con el de todas las herramientas destinadas a trabajar la madera (aparecen en esa época el torno de madera y el arco). Es una de las primeras manifestaciones del progreso en cadencia.

³⁹ Los griegos tampoco olvidaron el señalamiento. El faro de Alejandría, obra de la técnica avanzada, por sus dimensiones y potencia (60 Km. de alcance) es la muestra más famosa de estas seriales multiplicadas ya por aquellos para guía de los navegantes.

⁴⁰ El problema matemático de la palanca había sido planteado ya por Arquitas y por el autor anónimo de las *Mechanica* (atribuidas erróneamente durante mucho tiempo a Aristóteles).

La estática⁴¹ es decir el estudio general del equilibrio de los sólidos, fundada en la experiencia de las primeras máquinas simples⁴², fue el punto de partida racional de todos los progresos de la mecánica aplicada.

Con la Mecánica, y a partir de la Escuela de Alejandría (desde el siglo III a. C., pero sobre todo a partir del siglo II a. C.), asistimos al nacimiento de verdaderas técnicas modernas, esto es, instrumentos concebidos por la razón, deducidos de principios científicos y destinados a un fin práctico determinados aparatos con los que (si se hubiera querido) habría sido posible disminuir considerablemente "la fatiga del hombre"⁴³, Por otra parte, tales creaciones habían sido precedidas en los campos más variados y sorprendentes, por la fabricación de "autómatas", es decir, mecanismos capaces de reproducir las operaciones técnicas de un ser vivo⁴⁴. Tales fueron los inventos de Arquitas, el más célebre de los cuales parece haber sido una paloma de madera que volaba (IV siglo a. C.)⁴⁵

La dinámica, preparada por las especulaciones filosóficas y astronómicas de los griegos, sólo con Galileo alcanzará un rango científico.

Las ideas técnicas.

De todos estos ensayos aislados, de las tentativas promovidas por el arte militar⁴⁶ la cirugía y la medicina⁴⁷, la maquinaria del teatro⁴⁸, el transporte de materiales, se

⁴¹ La dinámica, preparada por las especulaciones filosóficas y astronómicas de los griegos, solo con Galileo alcanzará un rango científico

⁴² Estas máquinas eran: La rueda y su eje, la palanca, la polea, la culis, el tornillo sin fin (tornillo que engrana con una rueda dentada). La combinación de estos elementos determinaba la obtención de todos los aparatos para levantar pesos, — conocidos en esa época.

⁴³ No hay que olvidar, sin embargo, que la única máquina conveniente está elaborada con metal: El desarrollo de todo el maquinismo dependerá del desarrollo de la metalurgia.

⁴⁴ El mismo fenómeno se reproduce en las épocas modernas: La fabricación de autómatas anuncia el despertar de las técnicas por la ciencia.

⁴⁵ La escuela de Alejandría prosiguió la obra de Arquímedes; así dio a algunos problemas técnicos una base matemática. Pappus se dedicó al cálculo de los engranajes; Filón de Bizancio a los primeros elementos de la balística.

⁴⁶ Entre esas tentativas tenemos que señalar las catapultas que los ingenieros de Dionisio en Antigua emplearon en la defensa de Siracusa en 397 a. C. contra la flota cartaginesa: Máquinas enormes derivadas del arco de mano mediante una serie de estudios empíricos extraordinariamente conscientes y cuyos resultados eran expresados en formulas matemáticas

⁴⁷ Científica y filosóficamente la obra de los griegos, en el campo de la medicina, tuvo un alcance considerable. Crearon la práctica razonada y la diferenciaron de las tradiciones religiosas o prácticas supersticiosas, asociando el razonamiento y la observación con las lecciones del empirismo y la acción curativa: "Descubrir la causa de las enfermedades y aplicar todos los tratamientos para impedir que se agudicen es un solo y mismo acto." Las doctrinas más importantes creadas por los griegos en medicina son la doctrina moralista y la doctrina mecanicista. Esta última consideraba el cuerpo humano como un sistema de aparatos físicos. Enseñaba también a combinar los aparatos simples de la mecánica implicada para obtener poderosos aparatos susceptibles de reducir fracturas y luxaciones rebeldes. Estos aparatos cuya invención se atribuye a Hipócrates (ejemplo de las trágicas metamorfosis de nuestros inventos) dieron origen a los instrumentos de tortura del Renacimiento.

desprenden poco a poco ideas técnicas muy precisas. Estas ideas, unidas estrechamente a las ciencias, tenían por sí solas una importancia considerable: gracias a ellas los griegos pudieron construir instrumentos científicos de medición, de nivelación, de mira, que más tarde los hombres modernos utilizarían en sus trabajos (especialmente en astronomía). Valoramos realmente las ideas técnicas de los griegos cuando comprobamos su enorme alcance industrial y vemos que son la base de casi todo nuestro moderno poderío mecánico. Una de las más fecundas fue la del tornillo⁴⁹ que dio origen a innumerables inventos.

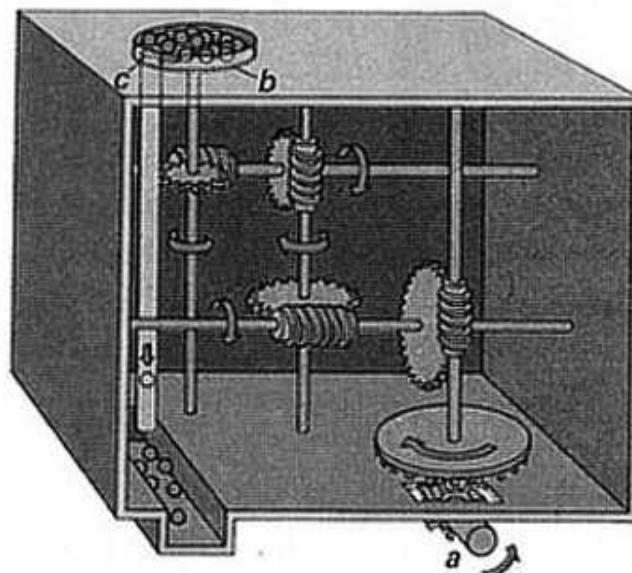


Figura 10. Odómetro o contador de vueltas (USHER)

La adaptación del tornillo y la tuerca constituye el "perno", indispensable todavía en nuestras modernas técnicas!⁵⁰

⁴⁸ Las representaciones teatrales, por los "efectos de óptica" y los juegos de perspectiva, son también buenos ejemplos de matemática aplicada.

⁴⁹ El tornillo, la tuerca y sus principales aplicaciones se relacionan tradicionalmente con los nombres de Arquitas y de Arquímedes. Pero con este invento sucede como con muchos otros: El uso del tornillo, es decir originalmente de un eje con una ranura en espiral. Está ligado a experiencias muy antiguas. El origen del tornillo hidráulico, llamado de "Arquímedes", parece remontarse hasta ciertos aparatos utilizados por los egipcios para hacer subir el agua.

⁵⁰ En esta extraordinaria serie de aplicaciones del tornillo, la hélice de nuestros barcos y la de los aviones son una de las últimas conquistas.

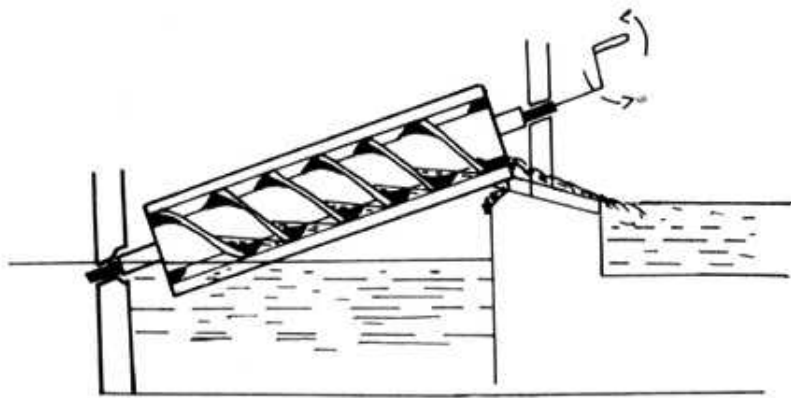


Figura 11. Tornillo hidráulico, perfeccionamiento de una vieja técnica egipcia. (USHER)

Los antiguos emplearon el tornillo no solamente como medio de unión sino también como instrumento para ejercer grandes presiones. Descubrieron también que engranando el tornillo en una rueda dentada (tornillo sin fin) se podían transformar mutuamente los movimientos de rotación ejecutados en planos diferentes.

Mediante la transformación de movimientos de rotación se pensó que se podía hacer funcionar una muela horizontal si se hacía actuar la corriente de un río sobre una rueda vertical, lo que nos da el esquema de una rueda hidráulica bastante perfeccionada⁵¹

⁵¹ Una forma más rudimentaria está representada por la rueda horizontal que gira con la corriente de agua.

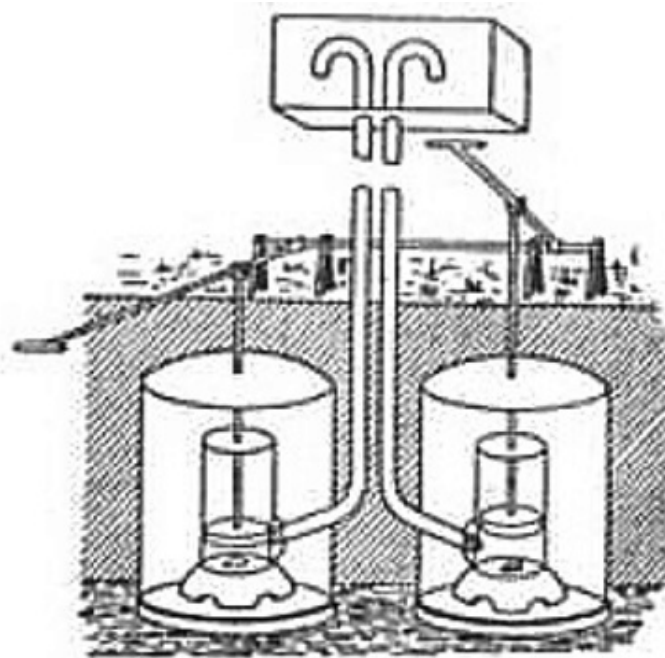


Figura 13. Esquema de la bomba aspirante e impelente de Filon (USHER)

El origen del molino hidráulico.

El mecanismo de la rueda de álabes, o más exactamente de la rueda de paletas unida a distintos engranajes, fue uno de los campos preferidos por el ingenio técnico de los antiguos. Una de las consecuencias de este procedimiento fue el desarrollo industrial (aunque muy limitado) de los molinos de agua, a partir del siglo II a. C. El trabajo de la molienda, que a menudo realizaban las mujeres, era uno de los más duros y monótonos de antigüedad. A partir de ese momento la maquina y la energía de los ríos liberaron a la mujer de tan pesada carga.

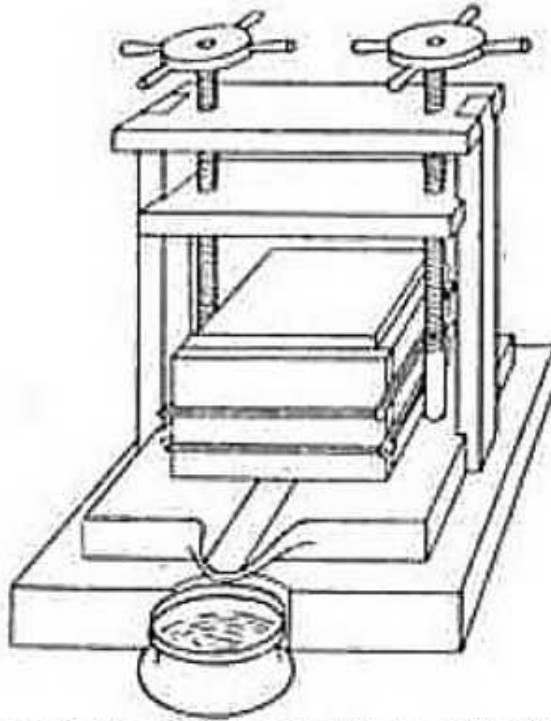


Figura 12. Pequeña prensa de tornillo (pintura mural de Pompeya, según (USHER)

A este hecho se refiere un poeta de la Antología griega en su célebre elogio del molino de agua, descripción sorprendente por su concisión, en la que un vocabulario preciso y un pensamiento riguroso de mecánico expresan el encanto de las más dulces imágenes del paganismo tradicional:

“Retira tus manos de la muela, molinera; duerme mucho, aunque el canto del gallo anuncie el día, pues Demeter encargó a las ninfas el trabajo que realizan tus manos; las ninfas se Precipitan desde lo alto de una rueda; hacen girar el eje que, mediante tornillos de engranaje, mueve el peso cóncavo de las muelas de Nizyra. Gustaremos la vida de la edad de oro si aprendemos a saborear sin esfuerzo las obras de Demeter.”

Las máquinas motoras.

Para tener una primera idea de la riqueza técnica de la antigüedad, además de las aplicaciones de la hidráulica, tendríamos que considerar también las aplicaciones de la neumática, es decir, el empleo de la elasticidad de los gases y el uso de las

transmisiones mecánicas. Este cuadro nos demostraría que muchas de las ideas fundamentales de la técnica moderna⁵² eran conocidas ya por los griegos.

Los antiguos no se limitaron a presentir, realizaron de hecho verdaderas máquinas motoras, como la extraordinaria esfera de Herón o "bola de vapor" que en otras circunstancias históricas hubiera podido ser el antepasado inmediato de nuestras modernas turbinas de reacción⁵³. Sin embargo, a pesar de este aparato y del conocimiento de la rueda de paletas, los antiguos no utilizaron la potencia del vapor⁵⁴. Existe mucha diferencia entre el germen intelectual de los inventos o los casuales descubrimientos mecánicos y la reproducción Voluntaria, calculada, de los efectos útiles, es decir de la institución colectiva de una actividad práctica fundada en técnicas eficaces.

Inutilidad práctica de los inventos griegos.

De un modo general podemos decir que los inventos técnicos de los antiguos, exceptuados tal vez el molino de agua y los instrumentos quirúrgicos, sirvieron más para la observación científica o la curiosidad, para el arte o la guerra, que para la transformación sistemática del trabajo humano.

Esta extraordinaria esterilidad práctica se debió posiblemente a que la sociedad antigua no tenía especial interés en suprimir la esclavitud, supresión que no consideraba posible⁵⁵ ni siquiera deseable. Acostumbrados desde muchos siglos atrás a emplear la energía humana, los antiguos no solamente no buscaron un cambio tan brusco en sus tradiciones económicas, sociales, políticas y religiosas sino

⁵² Entre las más notables realizaciones de la mecánica griega citemos: La bomba aspirante e impelente, el sifón, el órgano de Viento y el órgano de compresión, el odómetro, es decir el equivalente de nuestro taxímetro, los distribuidores de agua bendita en la entrada de los templos, etc. Posteriormente aparatos para medir el tiempo. Se atribuye a Platón el perfeccionamiento de la clepsidra (reloj de agua) y la invención de un curioso despertador hidráulico destinado a llamar a sus discípulos (¡seguramente para incitarlos a retomar los trabajos matemáticos!) al romper, con un ruido estridente, semejante al de nuestras sirenas, el silencio de los jardines de la Academia. Es evidente que los griegos prepararon el progreso del reloj hidráulico: Los mecanismos que ellos perfeccionaron y que dieron origen a los mecanismos de nuestros modernos relojes de pesas, demuestran su admirable ingenio científico y técnico.

⁵³ Una pequeña esfera hueca, provista de dos conductos de escape, se mueve alrededor de un eje formado por dos tubos uno de los cuales es hueco y comunica por una parte con la esfera y por la otra con la caldera. Cuando se hace hervir el agua de la caldera, por una reacción análoga a la que hace girar nuestros barredores de pelusas, la bola comienza a girar. Con el nombre de eolípila se confunde a menudo la esfera de Herón con simples bolas huecas que despiden vapor. Estas últimas tenían para los antiguos simplemente un interés taumatúrgico. Sin embargo, la observación de las mismas inspiró a los modernos un curioso anticipo de la turbina de vapor por impulsión.

⁵⁴ Su ignorancia fue mucho mayor respecto de la electricidad. Conocieron los fenómenos de electrización del ámbar pero no supieron analizar ni utilizar la electricidad.

⁵⁵ La frase de Aristóteles: "Cuando la lanzadera camine sola, los esclavos resultarán inútiles." Lo que era en el pensamiento del filósofo irónica demostración de la necesidad de la esclavitud, resultó una profecía involuntaria.

que lo temieron. Es un hecho notable la desconfianza, inconsciente o consciente, de las civilizaciones clásicas por el maquinismo.

La invención griega —a pesar de anticipos prodigiosos— y la poderosa organización romana ignoraron la transformación técnica del mundo, con la que tal vez se hubiera podido salvar la cultura mediterránea. Estas dos grandes formas de la sabiduría antigua permanecieron ajenas al desarrollo industrial.

Capítulo 8

La organización romana

Insuficiencias técnicas.

El genio técnico, limitado en Grecia y en Roma por factores psicológicos y morales, tropezaba también con otras dificultades, de orden puramente práctico, contra las que hubiera sido necesario luchar enérgicamente para poder vencerlas. El desarrollo industrial se vio entorpecido en la antigüedad por la insuficiencia general de los medios de realización técnica, de motores y tal vez de transportes.

Sin duda se utilizaba ya sistemáticamente la rueda, conocida tres mil años antes de nuestra era; por otra parte, la construcción de rutas, sobre todo en el Imperio Romano, llegaría a transformarse en una de las principales preocupaciones y en uno de los más valiosos medios de gobierno de la administración central. Sin embargo la técnica de construcción de esas rutas, impresionantes por su infraestructura, por sus dimensiones, por la magnitud de su red, por las prolongaciones lejanas que llegaban hasta las fronteras del mundo civilizado, no fue concebida con un sentido práctico⁵⁶. Sin embargo la imperfección de la ruta romana tiene una importancia secundaria. Los transportes eran insuficientes porque era deficiente la manera de enganchar los animales de tiro. Con los arneses empleados por los antiguos, es

⁵⁶ La vía romana, especie de muro rígido sobre el que se opera el desplazamiento, está recubierta de losas unidas por cemento de excelente calidad. Debido a la falta de elasticidad de este revestimiento —ante las deformaciones y la intemperie y su difícil reparación, esta clase de rutas no se adapta al tránsito intenso que las desgasta rápidamente. La ruta romana no es tan práctica como la calzada flexible o el pavimento utilizado por los modernos, fácil de reparar y resistente al uso; pero la ruta romana es un caso singular. A pesar de su falta de adaptación a los climas más rigurosos (el agua se filtra bajo las baldosas de la superficie, se congela y rompe el camino) resultaba útil para las comunicaciones rápidas y en menor grado para los acarreos casi inexistentes en esa época; los mismos nacieron, no con el enganche moderno (de los animales) sino con el tren delantero móvil. (Por la falta de este tren delantero móvil las rutas eran construidas en línea recta.)

decir, el collar colocado en el pescuezo del animal, se reducía extraordinariamente la fuerza motriz del mismo⁵⁷. Además la antigüedad ignoraba, al parecer, el enganche de los caballos en fila y las herraduras.

Progresos especiales.

Esta clase de obstáculos técnicos no puede, empero, explicar por sí sola la inferioridad industrial de los antiguos. En efecto, a pesar de los conocimientos imperfectos, de los procedimientos difíciles que era necesario emplear, cuando una urgencia social apremió el genio inventivo de los griegos o el genio organizador de los romanos, se buscó, y a menudo se logró, una solución técnica. Abundantes ejemplos de ello nos suministran la medicina y la cirugía con sus instrumentos, algunos de los cuales alcanzaron un alto grado de sutileza⁵⁸ (instrumentos de operación), y otros una potencia y precisión notables (aparatos para reducir las fracturas, etc.). Lo mismo se puede decir de los progresos de la metalurgia, del desarrollo de la alquimia (nacida de remotos orígenes caldeos) y de los preliminares de la química, el dorado, el platea, la holgura y la higiene. La época alcanzará la semimecanización de cierto número de industrias mediante el empleo de máquinas con movimiento circular y en las que podrá adaptarse un aparato para enganchar animales de tiro: aparatos para moler trigo, prensador de olivas, norias (a pesar de la apariencia contraria sugerida por el nombre árabe), aparatos elevadores con ruedas de ardilla...

Arquitectura, arte militar y derecho.

Los romanos, grandes conquistadores y excelentes administradores, realizaron considerables progresos en el arte de fabricar máquinas de guerra⁵⁹, en los grandes trabajos de ingeniería civil (rutas, puentes, acueductos) en arquitectura y en la organización regular de los transportes. Las clases altas de Roma favorecieron los inventos prácticos de la vida corriente y buscaron el lujo y la comodidad en la habitación.

⁵⁷ Por estas razones o por otras que ignoramos (quizás por el tipo de animales de tiro) los carros romanos podían transportar una carga muy limitada.

⁵⁸ Los instrumentos de un cirujano de Pompeya

⁵⁹ Pero en ese campo, como en todos los otros, no hicieron más que aplicar los inventos griegos.

Perfeccionamientos técnicos tales como la calefacción central (por galerías de aire caliente o hipocaustos, el uso del vidrio transparente) y aun la taquigrafía, deben su origen a esas inclinaciones prácticas de la civilización romana. Probablemente el derecho fue, en el orden de las adquisiciones intelectuales, la mayor y tal vez la única conquista original de ese genio verdadero aunque limitado.

Capítulo 9

Fracaso relativo del progreso técnico en la antigüedad

Los romanos con sus aptitudes administrativas y su genio organizador habrían debido completar la obra que el genio intelectual de Grecia, con su potencia de invención y de creación, había esbozado. A pesar del concurso de circunstancias políticas favorables, a pesar de haber presentado en forma extraordinaria muchos de nuestros descubrimientos modernos, la sabiduría industrial de la antigüedad no supo dar una sólida técnica a la admirable cultura intelectual y artística que nos dejó en herencia.

La esclavitud.

Tanto los romanos como los griegos ignoraron la verdadera civilización industrial, con la que tal vez se habría conseguido el desarrollo económico y la defensa militar del mundo antiguo, quizás porque despreciaban al trabajador manual y —por consiguiente— el trabajo mismo⁶⁰. La esclavitud, al aumentar notablemente con las conquistas de Roma, terminó por envilecer el trabajo humano después de haber degradado al hombre transformándolo en animal de carga. La situación del esclavo mejoró algo por influencia de los filósofos y del cristianismo. Pero sobre el trabajo pesaba siempre la ignominia de sus orígenes y su valor disminuía continuamente. El rendimiento del trabajo servil fue cada vez menor y envileció el de los otros trabajadores, aun el de los artesanos que, por otra parte, eran casi todos funcionarios del gobierno o de organismos estatales.

⁶⁰ El desdén que matemáticos o mecánicos tan ingeniosos como Platón o Arquímedes sentían por la técnica se relacionaba por lo menos con un ideal muy puro; el ideal del conocimiento desinteresado. Los romanos, grandes explotadores del universo, consideraban al esclavo, instrumento universal de producción, como el corolario indispensable de los goces materiales cuyo uso se reservaban para sí mismos.

La decadencia de la economía antigua.

Una inmensa crisis o una sucesión de crisis, en la producción y circulación de las riquezas, fue el preludio de desorganización política y de la caída del Imperio Romano. Desde fines del siglo II d. de C., Galia se orienta hacia la "autarquía". En el siglo III África también se aísla: se ha roto el equilibrio del comercio. En el siglo IV los bárbaros atraviesan las fronteras que hubieran sido inviolables con armas superiores y respaldadas por una mejor organización social⁶¹, La descomposición ya inevitable del orden romano se traduciría, en Occidente, por una decadencia general de las técnicas y por una regresión extraordinaria de la vida civilizada.

⁶¹ Y con una ubicación mejor de las industrias bélicas que estaban situadas en la frontera

Tercera parte

Las técnicas en la edad media

Capítulo 10

Decadencia de las técnicas

El fin del mundo romano.

Desde fines del siglo IV hasta fines del siglo VI después de C. inmensas migraciones de pueblos destruyeron la homogeneidad del imperio romano. Estas infiltraciones sucesivas, a veces violentas, terminaron por dislocar el cuadro administrativo y militar del viejo mundo. Con él desaparecieron las posibilidades de circulación y de intercambio, y todas las condiciones materiales y morales del progreso técnico y aún del trabajo regular.

Los desórdenes cada vez más frecuentes, el conflicto entre las ciudades y el campo, la destrucción o el pillaje de los centros urbanos, el deterioro de las rutas, de los puentes y de los acueductos, las epidemias y la inseguridad de los transportes acompañaron el debilitamiento progresivo del orden romano. Por causa de la descomposición política, la desorganización administrativa⁶² y el entorpecimiento en los intercambios⁶³, la cantidad y calidad de los bienes producidos alcanzaron su nivel más bajo; una miseria indecible se extendió sobre Occidente y el hambre se hizo endémica⁶⁴.

Durante muchos siglos los pueblos que Roma había civilizado descendieron a un nivel más bajo que el de la cultura y de la potencia de la antigüedad, aun prehelénica. Llegaron a un nivel de vida comparable con el de las últimas épocas de la prehistoria.

⁶² Especialmente el cese de los servicios postales.

el arado que había conducido por el surco, durante toda su vida, encabezando a los cultivadores.

⁶³ Simultáneamente con estos fenómenos en Occidente los dominios se replegaron en sí mismos, se estableció una especie de economía agrícola "cerrada", un retorno al trueque.

⁶⁴ El imperio romano de Oriente, protegido por su situación geográfica, mantuvo todavía durante quinientos o seiscientos años la superioridad de su estructura administrativa y militar. Conservó y perfeccionó en algunos puntos las técnicas de la antigüedad, especialmente en materia de tejidos y de trabajos artísticos. Pero no produjo innovación alguna y fue aventajado, en definitiva, por el ingenio técnico del nuevo mundo occidental cuando éste encontró sus bases sociales y políticas.

La reconquista medieval.

El desastre fue tan grande, los sufrimientos tan prolongados y fuertes, que el hombre se vio obligado a recomenzar el esfuerzo técnico desde sus más humildes orígenes y elevarlo a un nivel superior. Esa obra gigantesca de la Edad Media culminó con el triunfo decisivo del progreso industrial. Se debió en gran parte al trabajo tesonero de oscuros trabajadores aunque encontramos también rastros de verdaderos técnicos. Fue iniciada y alentada a veces por jefes políticos; pero ante todo, y de modo más coherente, por la Iglesia, única potencia que conservó durante el naufragio una estructura administrativa, una tradición intelectual y, con el dogma religioso, una imagen eficaz de la gran civilización antigua.

El papel de la Iglesia.

En esa época el ideal místico de los jefes de la Iglesia concordaba con su sentido práctico. Administradores de grandes dominios en los que deseaban obtener un rendimiento menos aleatorio: testigos avisados de la degradación política y social y de la miseria universal, se impusieron como misión principal hacer que las poblaciones ignorantes o reacias al trabajo "aborrecerán la espada" y reencontraran el sentido de la tierra. La labranza, la colonización agrícola, la valorización de la tierra, las mejoras de los cultivos, en todas partes el impulso fue dado por la Iglesia y especialmente por órdenes religiosas cuya gloria más duradera en nuestros campos proviene aún hoy del servicio que entonces prestaron a la civilización⁶⁵. En efecto hubo que retomar casi desde sus orígenes la obra técnica de adaptación de la tierra a las leyes de la producción agrícola.

La colonización agrícola.

El bosque espeso alternaba con praderas y extensiones desérticas que, por haber sido abandonadas durante siglos, volvían a adquirir su aspecto salvaje primitivo. No hay que sorprenderse, por lo tanto, de la popularidad legendaria que conquistaron esos monjes cultivadores que fueron a establecerse en los bosques y en las tierras desiertas: por ejemplo, los benedictinos que llevaban, obedientes a sus normas, una podadera en la cintura, insignia de su principal ocupación, o San Columbano que

⁶⁵ Esos esfuerzos fueron progresivamente posibles y provechosos merced al continuo aumento de la población, a la reurbanización y a la función de la moneda.

caminaba siempre seguido por una escolta de leñadores. Pero para ganar la batalla de la tierra era indispensable que se volviera a encontrar, y que se enseñara nuevamente, las técnicas elementales⁶⁶. Fueron también monjes, como San Mauro y los benedictinos, quienes divulgaron el uso de la reja del arado y de la rastra.

Las órdenes religiosas prosiguieron metódicamente, en pequeña escala durante los siglos VI a X y, en mayor grado, entre los siglos IX y XIII, la obra de colonización agrícola y la adaptación de la tierra. Después de ellos, y dirigidos por obispos, reyes y grandes propietarios, los pioneros llevaron el hacha a los bosques, limpiaron los eriales, quemaron los troncos, las zarzas y las espinas para fertilizar la tierra, trataron de secar los pantanos y de encauzar los ríos.

A pesar de los esfuerzos realizados, de la rotación de cultivos cada tres años⁶⁷ del empleo de abonos, se obtienen escasos resultados porque la técnica es todavía muy primitiva. Los abonos escasean y la tierra se agota. Las únicas herramientas generalmente empleadas son el arado primitivo y a veces la rastra o azada: la explotación del suelo no progresa porque faltan capitales, abonos y transportes. Con la división de las tierras se multiplicaron los cultivos, con resultados dispares.

Las mismas trabas limitaron el progreso de los oficios a pesar de que la Iglesia reorganizó sus talleres y trató de despertar la ingeniosidad de los trabajadores de toda clase. Para que esos esfuerzos alcanzaran todo su desarrollo faltaba el cuadro de la vida urbana, así como a las técnicas de la tierra les faltaba una extensión suficiente en los intercambios.

Capítulo 11

Conquista de las fuerzas motrices. Los transportes

Las dos condiciones aparecieron después de los siglos X y XI y sus consecuencias reforzaron las de un descubrimiento técnico fundamental, ligado a todo el desarrollo posterior de los transportes: el perfeccionamiento en la forma de enganchar la caballería.

⁶⁶ Los monjes de esta época preferían que un abate fuera de un buen arador, es decir que supiera conducir el arado, antes que un buen orador. Uno de estos abates fue Teodulfo, arquitecto, comerciante, magistrado, pero ante todo, campesino y agricultor, es decir, buen conductor de un arado. El pueblo, después de su muerte, en signo de veneración, quiso que se exhibiera en la iglesia

⁶⁷ Dejábase de sembrar un año cada tres en lugar de cada dos.

Forma antigua de enganchar la caballería.

Antiguamente se enganchaba el caballo mediante una tira de cuero flexible que se pasaba alrededor del pescuezo del animal en el lugar donde la tráquea pasa por debajo de la piel, sin apoyarla en el lomo. Cuando el carro se ponía en marcha, este collar apretaba la garganta y dificultaba la respiración, especialmente si el animal bajaba la cabeza, pues en ese caso los músculos del pescuezo ya no protegían la tráquea. Esto explica la actitud del animal con su cabeza erguida, que vemos fielmente reproducida en los documentos antiguos. En marcha lenta o cuando se exigía al animal un esfuerzo limitado, esta forma de enganchar no ofrecía inconvenientes, pero era un método muy defectuoso cuando el animal tenía que realizar un gran esfuerzo que lo obligaba a bajar la cabeza e inclinar el peso de su cuerpo hacia adelante en lugar de echarlo hacia atrás.

Forma moderna de enganchar la caballería.

A fines del siglo X d. C., es decir, a mediados de la Edad Media, mucho antes del período brillante de la cristiandad, un desconocido, boyero, talabartero o simple conductor de animales de tiro, aplicó una innovación que modificaría la fuerza de tracción animal y facilitaría los transportes. Inventó el collar de lomo, con armazón rígido, que se apoya en la base ósea de los omóplatos y capta de este modo toda la fuerza del animal.

Con el collar moderno el caballo tiene el pescuezo completamente libre y puede adoptar la posición incómoda para el esfuerzo que debe realizar. Puede bajar la cabeza, doblar el espinazo, inclinarse hacia adelante, apoyarse sobre el collar y ayudarse variando periódicamente su centro de gravedad.

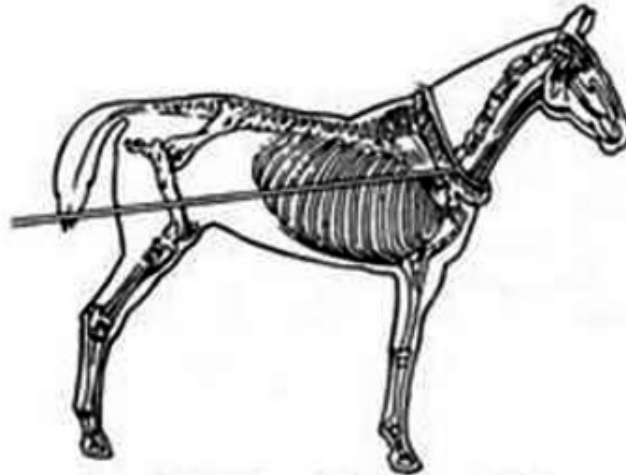


FIG. 15. *Collar de lomo y riendas*
(LEFEBVRE DES NOËTTES).

Este invento, de suma importancia, fue seguido por una serie de perfeccionamientos o de innovaciones que aumentaron más aún su rendimiento. Uno de estos perfeccionamientos se refiere al caballo mismo, es la herradura, inventada o reinventada, pero en todo caso usada sistemáticamente durante la Edad Media. Con las herraduras el animal podía afirmarse en los suelos más diversos y se evitaba el desgaste y las heridas de los cascos, tan frecuentes entre los caballos. Los Otros perfeccionamientos se refieren al enganche, en fila, de varios caballos y a la construcción de rutas.

El sistema de enganchar en fila los caballos era, al parecer, desconocido en la antigüedad; se inventó o por lo menos se aplicó sistemáticamente durante la Edad Media⁶⁸, sólo con este método se puede explotar racionalmente la fuerza de tracción. En lo que respecta a las rutas, rígidas y pavimentadas, en la antigüedad a partir de la Edad Media son elásticas y empedradas.

La elección de los nuevos materiales y los procedimientos de construcción estaban de acuerdo con las condiciones geográficas en que se desarrollaba la actividad medieval. La capacidad de adaptación técnica, de la que empezaba a dar pruebas la civilización occidental, resultó eficazísima en el desarrollo y extensión de los transportes terrestres. Estos, desde el punto de vista del número de vehículos, de su

⁶⁸ En China, en el siglo II de nuestra Era, se conocía ya la forma moderna de enganchar la caballería. Parece que esta costumbre se difundió por Asia en el siglo VIII. En Europa su expansión arranca del siglo X y XI.

velocidad y del tonelaje transportado, superan con holgura las técnicas análogas de la antigüedad.

La evolución técnica y las transformaciones sociales.

La evolución técnica, cuyo efecto aumentaría con el tiempo, mancomunadas con todas las causas económicas, religiosas, sociales, conseguirían transformar en hombres libres a la mayoría de los trabajadores. El progreso técnico no fue la causa propiamente dicha de esta evolución pero, en esa época, fue uno de los grandes aliados de las clases humildes en su esfuerzo de emancipación. Empero, los resultados de este esfuerzo habrían sido inferiores o nulos de no haber mediado la centralización urbana y la expansión de los intercambios. Estos dos grandes progresos, favorecidos por la nueva técnica de los transportes, caracterizaron el movimiento de renacimiento comercial que es el comienzo de la gran época medieval.

El renacimiento del comercio.

Después del siglo VIII, las invasiones de los normandos, magiares y, sobre todo, de los sarracenos, debilitaron el comercio. Pero la reacción eficaz que se produjo en occidente en el siglo XI permitió que los gérmenes del renacimiento industrial y comercial se desarrollaran en forma decisiva⁶⁹.

Esta revolución comercial, al abrir nuevos mercados y al surgir nuevas necesidades, estimula toda la producción industrial y agrícola. La potencia del capital mobiliario, que se afianza a partir de esta época, consagra el fin de la economía cerrada y se orienta hacia la economía urbana, preludio decisivo de la economía nacional.

La artesanía y las corporaciones.

⁶⁹ La voluntad de defender la cristiandad y propagar la fe cristiana entre los paganos y los musulmanes, contribuyó al desarrollo de la economía hacia el este y hacia el norte. Las cruzadas originan una extraordinaria efervescencia humana, un rejuvenecimiento de las aspiraciones; favorecen nuevas corrientes entre Oriente y Occidente y el empleo del Mediterráneo, abierto nuevamente las comunicaciones entre el nuevo mundo medieval y la vieja civilización bizantina. La vida comercial, asociada al progreso de la producción industrial y agrícola, se expande en forma completamente nueva y adopta técnicas de intercambios acordes con sus nuevas necesidades; las grandes ferias, el comienzo del comercio internacional, las grandes asociaciones mercantiles que, con el nombre de Hanses (Ligas) se hicieron célebres. Con la extensión del acuñamiento y circulación de la moneda y la nueva organización del crédito, se desarrolló la economía monetaria en detrimento del trueque y de los intercambios en especie.

La agrupación urbana, en efecto, hace resaltar y valoriza el impulso de las técnicas en el período medieval; alrededor del Ayuntamiento, donde se unen las corporaciones⁷⁰ se agrupan los talleres de los artesanos y las estanterías de los comerciantes. La artesanía de las ciudades, cuyo destino estuvo estrechamente ligado a la conquista y defensa de las libertades comunales, se transformó en depositaria de la técnica medieval y en su más viva expresión. Su superioridad se aprecia tanto en el trabajo manual como en el trabajo mecánico propiamente dicho. En las industrias textiles y en las artísticas se manifiesta la habilidad de los obreros, constreñidos a una formación minuciosa y deseosos de obtener el "acabado" en sus trabajos. Respecto de tejidos, amueblamiento y decoración, Occidente está ya en condiciones de competir con la técnica oriental y no tardará en superarla⁷¹.

Capítulo 12

Conquistas de las fuerzas motrices. Los molinos

El molino de agua.

No se trata en realidad de un invento propiamente dicho, surgido de la artesanía medieval. Es, por el contrario, resultado de una larga serie de esfuerzos. En la prehistoria, los granos se trituraban sobre la piedra bruta, luego en el pilón y finalmente con un rodillo de piedra que iba y venía sobre un soporte alargado.

⁷⁰ Las corporaciones en que los miembros de los distintos cuerpos de oficios se agrupaban para defender sus intereses comunes fueron al principio y fundamentalmente, quizás, religiosas. Aquí también el ideal religioso y la obra de la Iglesia prepararon el camino del progreso técnico. Las corporaciones, que al principio desempeñaron un papel muy importante, terminaron por neutralizar el progreso técnico. Lo frenaron al principio por la inflexibilidad de sus estatutos pero, sobre todo, por las consecuencias sociales de los mismos. Presionados por fuerzas económicas éstos tuvieron que ser modificados.

⁷¹ Al enriquecerse los trabajadores y los campesinos se extiende el uso de la ropa interior; esto, entre otras ventajas traerá la de facilitar la fabricación de papel y la expansión de la imprenta.

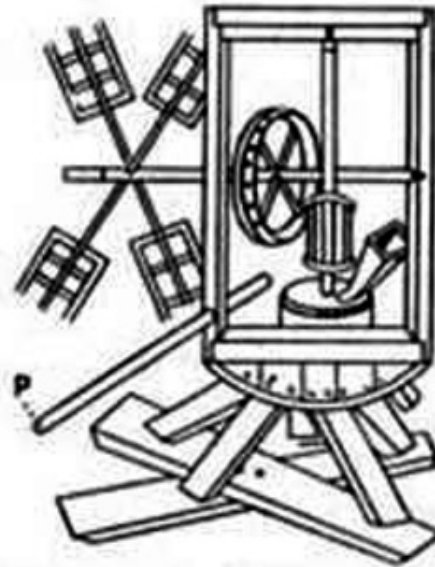


FIG. 17. Molino de viento giratorio, hacia 1430 (USHER).

P. palanca que hace girar el conjunto

Dos o tres siglos antes de la Era Cristiana apareció la muela giratoria, movida por el hombre, el caballo o el burro. Poco después surgió la idea de asociar a la rotación uniforme de la muela una rueda movida por un río. En el último siglo antes de la era cristiana funcionaban ya molinos de agua en los países del oriente mediterráneo.

El molino de agua, inventado por los antiguos, se transformó en una "institución" técnica nueva por la expansión que alcanzó durante la Edad Media. Los antiguos no tenían interés en difundir el uso de los molinos de agua mientras dispusieran de material humano en abundancia. A fines del imperio romano, la despoblación y la disminución de la mano de obra servil hicieron conveniente su empleo.

El molino de viento.

Los señores de la Edad Media siguieron el ejemplo de las grandes colectividades monásticas; apreciaron la utilidad del maquinismo colectivo y quisieron imponerlo no sin asegurarse el beneficio de su monopolio⁷². Por su influencia, la molienda

⁷² Esta situación originó una guerra sorda entre los humildes y los poseedores del monopolio: Señores y clérigos. Ese tipo de molienda del trigo, prohibido hasta el siglo XIX en algunos países de Europa prosiguió en la clandestinidad. Tal forma de competencia inhumana, entre dos técnicas tan desiguales, todavía subsiste.

mecánica con el molino de agua —y después del siglo XII con el molino de viento⁷³— suplantó voluntaria o forzosamente los métodos primitivos.

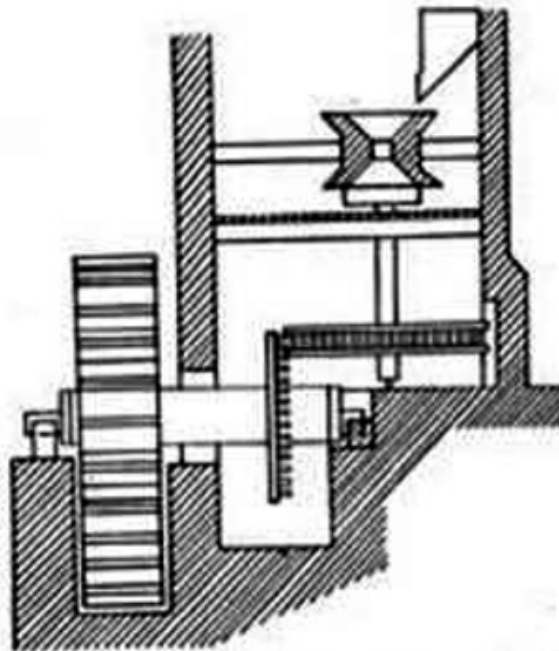


FIG. 16. Molino romano con engranajes según Vitruve (USHER).

Las minas y la metalurgia.

Mientras se desarrollan los molinos y se generaliza el uso de la energía animal y de la energía hidráulica, la metalurgia y el trabajo de las minas son perfeccionados. A pesar de que empieza a conocerse y a utilizarse la hulla, el combustible vegetal y el carbón de leña todavía son combustibles básicos para el tratamiento de los minerales⁷⁴. Los hornos no adquieren aún mayor potencia y gran parte del trabajo se realiza a mano, pero en cualquier parte donde se encuentren reunidos madera, mineral y caídas de agua, se instalan pequeñas forjas. Algunas regiones se hacen

⁷³ El uso del molino de viento planteaba un problema mecánico original. Como era necesario que las alas estuvieran dispuestas siempre hacia el lado del viento, para poder orientar fácilmente el molino por rotación, toda la estructura del aparato (o gran parte del mismo) tendría que moverse sobre un eje. Los más antiguos y más pequeños molinos giraban alrededor de un eje central fijo en el suelo de modo más o menos permanente. El molino de viento, que requería un mecanismo más complejo que el molino hidráulico, suministraba igual potencia; por esta razón tardó más tiempo en desarrollarse.

⁷⁴ Al reducir el mineral, en forma de óxido, en hornos pequeños, de carbón de leña, se obtiene directamente hierro y acero; este procedimiento es muy imperfecto pues gran cantidad de hierro se transforma en escoria.

famosas por el acabado de sus trabajos de latón, cobre y hierro forjado. En toda la gama de oficios artísticos, esmaltes, vidriería, asociados a la arquitectura, a la pintura religiosa, y a la iluminación, se destaca la maestría del artesano medieval, cuyo valor sobrepasando el plano de la técnica pura, adquiere un poder de evocación espiritual y de elevación religiosa.

La edad de oro de la cristiandad.

El período más brillante de la Edad Media, que se inicia en el siglo XII, constituye un verdadero renacimiento material y espiritual. La vida artística y religiosa se anticipa en muchos aspectos al progreso técnico. Este no ha alcanzado todavía su apogeo; sin embargo su reacción se advierte ya en toda la civilización contemporánea y en la base misma de esta civilización: la producción agrícola⁷⁵.

Fuertes animales arrastran el arado con rejas de hierro; la lucha por la tierra se torna fructífera. Cultiva legumbres Oriente y frutos la región mediterránea. Se aclimatan plantas textiles. Este esfuerzo inmenso enriquece a todos los países europeos: Italia, España, Inglaterra, Países Bajos y Alemania se transforman en regiones opulentas. Froissart, que escribe antes de la segunda mitad del siglo XIV, es decir, antes del desastre de la peste negra, dice que Francia se ha transformado en el más hermoso reino del mundo después del reino del cielo". En aquella época Francia debía tener de 20 a 22 millones de habitantes (38 a 41 por kilómetro cuadrado), casi la misma población que tendrá a mediados del siglo XVIII.

Capítulo 13

Preparación de los tiempos modernos

⁷⁵ Entre los siglos XI y XII, por influencia del progreso económico e industrial surgido de la civilización urbana, las necesidades de consumo aumentaron. Se reanudó y terminó el esfuerzo de colonización, índice del primer resurgimiento occidental en la Edad Media. (Sobre la eficacia limitada y la extensión relativa de la primera obra de colonización de la tierra). La Iglesia y los principales feudales, ávidos de conservar sus rentas, no cejaron en estimular el esfuerzo de los campesinos que transformaron las tierras cubiertas de grandes bosques en herbazales, praderas, campiñas cultivadas. Artois, Picardía, Ponthieu, la Isla de Francia, Normandía, Alto Champaña, Morvan, Alta Borgoña, los países del Mosa y de los Vosgos, Bretaña, Poitou, Loira, Aquitania, el Sudeste, toda la campaña francesa adquirió en tres siglos su fisonomía actual. Las técnicas de defensa contra las aguas, de secado, de irrigación, se aplicaron sistemáticamente para conquistar el litoral, los valles fluviales y los pantanos; desecar los eriales, talar los bosques y regularizar el curso de los ríos. Se trató de recuperar los procedimientos de la antigua agronomía romana; se perfeccionó el abono y las mejoras de las tierras. En España los árabes reorganizaron y completaron la admirable red de irrigación establecida por los romanos.

Capitalismo y maquinismo.

Las crisis políticas y religiosas, las invasiones y las epidemias asolaron terriblemente la población europea durante el último período del siglo XIV y todo el siglo XV. Pero, coincidencia notable, la despoblación, al disminuir la mano de obra, acelera el desarrollo del maquinismo: proyección ampliada de un fenómeno visible ya en la decadencia del imperio romano. El fin de la Edad Media, que al extender el maquinismo prepara la moderna Europa, presencia también las primeras intervenciones del capitalismo en el esfuerzo continuado para la producción industrial.

Después de esta evolución surgen grandes progresos técnicos, sobre todo respecto de los transportes marítimos⁷⁶.

La brújula.

Extraordinario anticipo de estos progresos fueron, en el campo de la navegación de ultramar, las expediciones transoceánicas de los Vikingos, a mediados de la Edad Media⁷⁷. Estas hazañas sólo se repitieron después del descubrimiento de nuevos procedimientos técnicos entre los que podemos citar: el timón axial y la brújula. La brújula, transmitida por China o reinventada por Occidente hacia el siglo XII, estaba formada al principio por una aguja imanada puesta en una paja que flotaba en el agua de un bol. Mucho tiempo después se la montó sobre un eje fijo y se le acopló una rosa de los vientos.

El timón axial.

El timón de codaste⁷⁸, pieza de madera plana que giraba sobre sus goznes asociada a una "barra" que servía para orientarla, comienza a suplantarse, en el siglo XII, al remo de costado o de cola, es decir al remo—timón, que se utilizaba hasta ese momento para gobernar la nave. El timón axial (timón vertical fijo por bisagras de hierro sobre el codaste de los navíos) parece estar estrechamente ligado con el

⁷⁶ El uso de los siguientes instrumentos de navegación: Astrolabio, arbalustrilla, cuadrantes de círculo, empezó, sin duda (o por lo menos se difundió), a partir de esta época.

⁷⁷ Los drakkars, aventureros extraordinarios, construyeron barcos con cascos sólidos, aunque con puentes insuficientes y, navegando mediante velas unos, y remos otros, realizaron, hacia el año 1000, esto es, cinco siglos antes de Colón, la travesía del Atlántico, lo que demostró que su técnica de la navegación de la construcción naval estaba en relación directa con su audacia. C.

⁷⁸ Codaste: Parte retorcida de la quilla.

desarrollo de la navegación moderna. Su eficacia y aún su utilidad en la navegación de vela, en la época en que se comenzó a usar ese aparato, carece de explicación técnica satisfactoria, lo que constituye un irritante misterio para el historiador.

Las técnicas del mar.

El desarrollo de los procedimientos científicos de la navegación es más comprensible. Los progresos referentes a la cartografía⁷⁹ y al arte de determinar la posición del barco en el mar, florecieron con rapidez sorprendente desde que los portugueses, a partir del siglo XV, iniciaron la era de las grandes exploraciones. Antes de esas conquistas la práctica de la navegación se había desarrollado mucho. En efecto, el impulso extraordinario que las Cruzadas y las peregrinaciones a Tierra Santa dieron a los viajes por mar aún entre la gente pobre hizo que las técnicas del mar fueran realmente incluidas en las costumbres de Occidente.

Los transportes terrestres.

Los transportes terrestres⁸⁰ también progresaron mucho desde el siglo XII. Estos progresos eran limitados por el mantenimiento defectuoso de puentes y rutas. En el siglo XIV los convoyes de mercaderías hacían en 35 días solamente el recorrido de París a Nápoles por la cima del Monte Cenis.

La hidráulica y la mecánica.

En la misma época se profundizan y se colocan balizas en el lecho de los ríos. En Lombardía son inventadas las primeras esclusas y se abre, entre el Báltico y el Elba, el primer canal de navegación marítima. Podemos decir que, en general, la

⁷⁹ Los primeros mapas marinos eran burdos esquemas de una parte del litoral. Algunos salvajes (habitantes de las islas Marshall) trazaron mapas con pedacitos de madera colocados en forma de parrilla. Las corrientes estaban marcadas con nervaduras de hojas de cocotero, curvadas transversalmente, y las islas, por medio de "caoris".

En el siglo XI, para determinar las posiciones y resolver los problemas de navegación se recurría, a veces, a mapamundis de gran tamaño. Pero para que resultasen verdaderamente útiles, estos mapamundis habrían debido ser enormes. Durante mucho tiempo, los mapas marinos suponían plana la superficie considerada. Mientras esta superficie fuese reducida al error sería desdeñable. El progreso consistía en obtener una proyección lo suficientemente exacta y útil. Los geógrafos árabes, y los portugueses en el siglo XV, consiguieron ese resultado por procedimientos empíricos que dieron origen a los "portulanos". Pero en el siglo XIV se quería que la ruta seguida estuviera representada en el mapa por una línea recta, que formara con el meridiano del lugar el mismo ángulo que formaba el eje del navío con el norte y, además, que las distancias pudieran ser medidas en el mapa. Este problema sólo pudo resolverse en el siglo XVI, con el invento del geógrafo flamenco Kremer, llamado "Mercator", cuyo sistema de proyección conserva los ángulos y las longitudes.

⁸⁰ Entre los que hay que recordar el invento o el reinvento de la humilde pero tan útil carretilla (siglo XIII). Respecto del tren delantero móvil y de los arados.

distribución de las fuerzas hidráulicas se desarrolla y se une íntimamente a los numerosos y diversos mecanismos puestos en acción⁸¹.

La metalurgia y sus derivados.

El mismo impulso se nota en el progreso de la metalurgia, lo que provoca un auge notable de las industrias derivadas como la fundición, armería, cerrajería y herrería. En todas ellas se observa algún perfeccionamiento técnico notable. Los inventos más importantes se relacionan con la relojería y la imprenta.

La relojería.

En la historia de los instrumentos de medición del tiempo, que se inicia con la sombra del gnomon para seguir con todas las variedades del cuadrante solar, el reloj de pesas representa un gran progreso mecánico, progreso que preparó, y con el que compitió mucho tiempo, el reloj hidráulico antiguo. Remplazando la corriente de agua y el regulador correspondiente por la fuerza de gravedad, controlada por un sistema ingenioso de escapes (anterior a la aplicación del péndulo que data del siglo XVII) el reloj de pesas del siglo XIV⁸² es un anticipo de los aparatos basados en la expansión progresiva de un resorte, es decir, de los relojes con los que, una vez perfeccionados, los navegantes de los siglos XVII y XVIII podrán resolver el problema de las longitudes⁸³. El reloj de pesas y sus derivados, que poco a poco alcanzan la categoría de instrumento científicos, recurrieron a delicadas

⁸¹ A partir de la segunda mitad del siglo XII la energía de los cursos de agua se utilizó para presionar y pisar. La adaptación del movimiento circular para levantar un mazo (que vuelve a caer luego por gravedad) desempeñó un papel muy importante en una serie de oficios (apresto de los paños, preparación del tanino y de la madera de obra, fabricación de papel, etc.). Los molinos hidráulicos, concebidos para esos fines, darán origen a una gran familia de máquinas industriales.

El motor hidráulico no se aplicó al trabajo de aserradero hasta fines del siglo XIV, época en que también se usó la muela para pulir y afilar las herramientas. Sin embargo para los técnicos se hacía aceptable la idea de la producción artificial y de la transmisión del movimiento.

⁸² El descubrimiento de la fundición (elemento esencial del procedimiento indirecto en la metalurgia del hierro) está ligado al perfeccionamiento de los hornos. Desde principios del siglo XIII se aplicó la fuerza hidráulica a los fuelles, con lo que se pudo obtener una temperatura más elevada y regular. La carburación más activa determinó la fundición que, al fluir debajo del horno, permitió obtener piezas moldeadas. Fue posible elevar el horno que se transformó en el horno soplado (3 m de altura) y durante el siglo XIII, en el alto horno (5 m de altura).

⁸³ La historia del moderno reloj mecánico se inaugura cuando Carlos V hace instalar (entre 1364 y 1370) el reloj de Vick, en la torre del actual Palacio de Justicia de París. Esta innovación señala el fin de tanteos empíricos. Coincide por una parte con el principio de los modernos métodos de apreciación del tiempo (horas iguales) y, por otra, con el Comienzo de un refinamiento progresivo de las concepciones mecánicas y de los procedimientos de fabricación de engranajes. Debemos señalar además que, en casi todas las clases sociales, la evolución de la exactitud en la medición de los intervalos de tiempo fue mucho más lenta que la del refinamiento técnico de los instrumentos de medición.

combinaciones que revelan gran ingenio técnico y son un campo de invención característico de Occidente.

La imprenta.

La imprenta, que tuvo influencia incalculable sobre la civilización, es por el contrario resultado de lentas y lejanas transmisiones técnicas.

En cuanto al uso de los tipos y a la fabricación del papel, los chinos aventajan en mil años la civilización occidental⁸⁴. A ellos les debemos el uso de la tinta y los grabados sobre madera para reproducir la escritura. El aporte técnico de Occidente, donde se desarrolló también el grabado sobre madera, fue sobre todo la obtención de tipos metálicos móviles, bastante claros, resistentes a la presión y al desgaste y que podían ser fabricados en cantidad suficiente para obtener un resultado industrial⁸⁵.

Inventos y adquisiciones medievales.

La laca, la seda, el largavista, la pólvora, son técnicas que China transmitió a los occidentales. Occidente no hizo más que perfeccionar el uso de este último descubrimiento⁸⁶. Por lo tanto se trata únicamente de transmisión o adaptación, como sucedió con la difusión de los números arábigos con lo que fue posible facilitar los cálculos y llevar libros de contabilidad. Al contrario, en la Edad Media se inventó —o se reinventó— una cantidad de mecanismos y procedimientos útiles tales como el torno (descubierto en el siglo XIII) y los anteojos o gafas que aparecen en el siglo XII.

En la Edad Media también (en el siglo XI) se mejoró y acrecentó el uso de la iluminación con vela y con cirios de cera (es decir iluminación sin humo). En la misma época (siglo XII) apareció la chimenea doméstica que se transformó pronto en el lugar más importante de la casa. Floreció el uso del vidrio transparente

⁸⁴ Podemos decir en forma absoluta que la imprenta existe desde las épocas prehistóricas (exactamente después del periodo paleolítico superior) puesto que en esa época los hombres trataban de reproducir sistemáticamente las huellas de las manos en los muros de las cavernas. Entre los primitivos existía la costumbre de imprimir en cortezas (con agujas o trozos de madera), en alfarería o en arcilla.

⁸⁵ En su completa realización la imprenta incluye el invento del papel y la fabricación de tinta mediante el aceite; el desarrollo del grabado sobre madera y sobre metal; el desarrollo de la fundición de tipos y de la reproducción en metal de las formas de madera, el desarrollo de la prensa y el trabajo de la prensa de imprimir. Estas distintas técnicas se definen entre 1440 y 1445. El completo desarrollo de la imprenta, más que cualquier otra realización representa de un modo significativo el paso de la técnica medieval a la técnica moderna.

⁸⁶ Algunos de nuestros más recientes descubrimientos que son sólo redescubrimientos: Granadas de mano, gases deletéreos, torpedos, tanques, navíos acorazados submarinos, aeronaves, eran ya conocidos en China.

después del invento de las vidrieras de colores (¿Siglo XII?). Cualesquiera sean la naturaleza y el origen de esas transformaciones técnicas, las mismas demuestran el genio occidental; ingeniosidad y flexibilidad —de la mano, de la mirada, del espíritu—; facultad de renovación hasta en el seno de las masas artesanas; voluntad oscura de crear una civilización técnica, aún con la base de préstamos.

Capítulo 14

Valor técnico de la edad media

Las conquistas técnicas de la Edad Media, ya se trate de verdaderos inventos o de ingeniosas adaptaciones, se diferencian de las conquistas realizadas en la antigüedad por dos características bien definidas. Se caracterizan principalmente por estar destinadas a aumentar el rendimiento de las fuerzas utilizadas: fuerzas naturales o inanimadas. Directa o indirectamente tratan de aliviar el trabajo humano o de hacerlo más eficaz: al respecto podemos decir que todos los progresos modernos tienen sus raíces en la tenacidad medieval.

La otra característica, tan importante como la primera, está representada por el hecho de que dichas conquistas corresponden con tanta exactitud a las necesidades de la sociedad y a sus leyes de desarrollo que son siempre indiscutibles; más aún, influyen enérgicamente sobre la estructura social.

Los dos caracteres esenciales de la técnica medieval revelan la existencia de una inmensa fuerza social de renovación. La convergencia de esfuerzos realizados por grandes colectividades de seres libres, recién esbozados pero capacitados ya para dirigir las fuerzas, reemplazan el orden pasivo de los imperios y la servidumbre del trabajo romano. La técnica medieval está a la altura de un nuevo mundo de productores. Madurada lentamente representó amplias y resistentes etapas para la civilización occidental. Sus pacientes esfuerzos, sus sólidas adaptaciones, suministraron bases indestructibles al desarrollo industrial y agrícola del mundo moderno cuyas verdaderas y decisivas conquistas hunden siempre sus raíces en el genio medieval.

Cuarta parte

El espíritu moderno y los progresos de la industria

Capítulo 15

La filosofía moderna y la rehabilitación de las técnicas

Técnica y filosofía.

Varias causas técnicas y sociales, y tal vez en especial el abuso de la mano de obra servil, limitaron el desarrollo de la industria en la antigüedad, a pesar de las prodigiosas dotes inventivas de Grecia y del genio administrativo de Roma, se despreciaba el trabajo servil porque se lo asociaba con la imagen y la condición degradante del esclavo. En la Edad Media se produce una reacción verdadera y eficaz contra la decadencia de las técnicas. La misma Iglesia dio el ejemplo exaltando el trabajo de la tierra. Sin embargo, en la sociedad feudal subsistía el antiguo desprecio por el trabajo servil, tanto entre los clérigos como entre los caballeros o señores de la sociedad feudal. Los progresos técnicos tendían sin duda, oscuramente, a rehabilitar la dignidad del trabajo, a quitar al hombre la función agobiante de motor, para transformarlo en conductor de fuerzas; sin embargo las clases privilegiadas no reconocían todavía esta nueva dignidad del técnico o, como se decía entonces, del hombre dedicado a las "artes mecánicas". La rehabilitación psicológica y social de la técnica no empieza hasta el Renacimiento con el comienzo de la filosofía moderna.

En efecto, en ese momento algunos pensadores originales comprobaron la viva oposición que existía entre el progreso de los métodos científicos, la solidez y fecundidad de las artes industriales y la esterilidad de las disputas tradicionales de las distintas escuelas filosóficas. De ese contraste surgió la idea esencial de que todo conocimiento sólido está inseparablemente unido a un trabajo ordenado⁸⁷. El método experimental apareció así, no sólo como el arte de dominar la naturaleza, sino como el arte de conocer sus leyes, es decir, de abrir el espíritu a la sabiduría de las cosas.

⁸⁷ El conocimiento fecundo es el resultado de un trabajo material y espiritual: Comenzar y terminar con el manipuleo directo o indirecto de seres concretos requiere siempre una forma precisa de actividad técnica.

Según el principio de este método experimental, tomado por modelo, las ideas fueron totalmente profundizadas y renovadas.

En plena Edad Media, un monje franciscano, espíritu extraordinariamente original, Roger Bacon (nacido en 1210), presintió confusa pero profundamente el porvenir de la experiencia y la eficacia práctica que la misma comprendía. Pero fue Francis Bacon (1561 — 1626) canciller de Inglaterra, quien tuvo el honor de redactar el primer y decisivo informe de la filosofía experimental. La verdadera filosofía, decía éste, debe reconocer que la escolástica pura está estancada mientras las técnicas, desde hace muchos siglos, progresan y transforman el mundo. Por esta razón hay que estudiar en primer término las “artes mecánicas”, tan desdeñadas y, sin embargo, tan útiles e instructivas.

Descartes.

Descartes quiso que los hombres de su época realizaran un esfuerzo similar. En él, el desdén aristocrático por las actividades lucrativas está curiosamente asociado con un respeto, un amor, por el conocimiento puro que únicamente se puede comparar con el que profesaban los griegos o los místicos de la Edad Media. Descartes aprecia, además, el alcance intelectual y el valor bienhechor del trabajo mecánico. La verdadera filosofía, tal como él la concibe, es una inmensa preparación para el triunfo de nuestra potencia técnica. Ésta es una filosofía Práctica con la que, si conociéramos la fuerza y las aplicaciones del fuego, del agua, del aire, de los astros, de los cielos y de todos los otros cuerpos que nos rodean, con la misma precisión con que conocemos los distintos oficios de nuestros artesanos, podríamos emplearlos correctamente en todos los usos que les son propios y hacernos dueños y señores de la Naturaleza.⁸⁸

Descartes no se limita a estudiar teórica y matemáticamente las máquinas simples y a establecer los principios de la Mecánica. Aprecia a los artesanos que colaboran en

⁸⁸ Discurso del Método, parte VI (subrayado del autor). Nos sorprende la precisión de los deseos de Descartes referentes a la eficacia técnica de la ciencia pues ciertos deseos y el programa que los materializa no serán aplicados, en la práctica, sino hasta el siglo XIX. La derivación de la ciencia en técnicas industriales influyó en el equilibrio de la civilización y en el concepto que los más sabios tenían de la ciencia.

sus trabajos y cree que es necesario crear para ellos una cuela de Artes y Oficios, extraordinaria intuición de la gran obra de los legisladores revolucionarios⁸⁹.

Leibniz.

Leibniz, con perspicacia similar, comprobará más tarde que la técnica, por humilde que sea, instruye. El artesano debe estar familiarizado con el modo de tratar la naturaleza y estos conocimientos son en realidad muy superiores a los que se obtiene en los libros. Si se perdieran estos secretos "las bibliotecas serían incapaces de suplirlos".

Las ciencias experimentales.

En la época moderna la práctica de las ciencias experimentales y principalmente de la mecánica fue el nexo metódico entre filosofía y el genio de los técnicos. Entre los conocimientos antiguos exhumados por el Renacimiento figuran, en primer lugar, los descubrimientos de Arquímedes y su arte de analizar matemáticamente los efectos mecánicos. En esta escuela se formaron espíritus como los de Leonardo da Vinci y Galileo. Ambos honraron la ciencia mecánica y lucharon por combatir su descrédito; los dos elogiaron la experiencia, madre de toda certeza; ellos son físicos en el sentido más técnico de la palabra⁹⁰.

La física moderna, en efecto, depende simultáneamente de las matemáticas y de la práctica experimental. Esto quedó demostrado desde sus orígenes por el progreso de los instrumentos, ligados siempre al progreso de las teorías científicas. El anteojo astronómico⁹¹, el microscopio, el termómetro, el barómetro, la máquina neumática, el péndulo, el reloj portátil, el reloj con espiral, por ejemplo, están íntimamente

⁸⁹ "Aconsejaba la construcción de varios salones grandes para los artesanos, cada uno de los cuales estaría destinado a un grupo distinto de oficios; instalar en ellos sendos laboratorios con todos los instrumentos mecánicos necesarios o útiles para las Artes allí enseñadas." Los profesores "debían de ser versados en Matemáticas y en Física para poder responder a todas las preguntas de los artesanos, suministrarles toda clase de explicaciones y encaminarlos para que hicieran nuevos descubrimientos en las Artes. Debían dictar sus clases públicas únicamente los días de fiesta y los domingos después de la hora de vísperas, para que todos los artesanos pudieran asistir sin perder horas de trabajo". Apoyado en este principio se fundó en 1795, y funciona actualmente, el Conservatorio Nacional de Artes y Oficios.

⁹⁰ Leonardo de Vinci, hombre universal, es uno de los iniciadores de la mecánica y de la física modernas. Fue un ingeniero notable y sus realizaciones prácticas y conceptos teóricos originaron, desde el siglo XVI, numerosos perfeccionamientos industriales. Algunos de sus inventos se adelantaron en forma sorprendente a la marcha del progreso técnico; en cambio, otros inventos que se le atribuyen son anteriores a él.

⁹¹ El principio del anteojo astronómico, es decir el uso de lentes de aumento, conocido ya en parte antiguamente en China, se desarrolló a partir de los ensayos decisivos de Galileo. A pesar de los esfuerzos de Kepler y de Descartes, la teoría de ese aparato comienza a imponerse en el siglo XVIII (Clairaut-D'Alembert-Euler)

ligados a los descubrimientos realizados en óptica, física, hidrostática y mecánica en general. Un buen físico, además del talento matemático, debe poseer el arte de manipular la materia, de doblegarla con fines definidos. Al aplicar en sus actos las lecciones de la experiencia, debe poseer la "técnica" de su ciencia como el buen artesano posee la técnica de su industria. Blaise Pascal lo comprendió así y aplicó en todos los campos un espíritu de investigación increíblemente penetrante⁹².

Capítulo 16

Organización de la producción industrial⁹³

Economía nacional. A partir del siglo XIV los reyes de Francia impusieron poco a poco su autoridad a los señores feudales, a las ciudades, a los organismos del Estado y a las distintas corporaciones. La administración, seguida directa o indirectamente de casi todas las asociaciones patronales y obreras, estableció reglamentos en materia de aduana, navegación y organización del trabajo.

En el siglo XVI, la autoridad real y la unificación política permitirán tener una visión más amplia en materia económica. Se intentará realizar en la escala nacional todo lo que desde mediados de la Edad Media el comercio y la industria habían realizado ya en el cuadro de las ciudades. El nombre de Colbert está íntimamente ligado a este primer ensayo de organización racional de la producción en el plano nacional. A pesar de que sus planes, en toda su amplitud, no pudieron vencer de modo permanente las resistencias de la época, gracias a su ejecución parcial Francia pudo realizar grandes progresos industriales y alcanzar una gloria perdurable⁹⁴.

⁹² Pascal fue, en el más elevado sentido de la palabra, un "técnico" extraordinario de la investigación experimental. Dio pruebas, además, en muchos de sus inventos, de un gran sentido de la industria humana y de un verdadero genio de organización práctica. Al crear su famosa máquina aritmética quiso suprimir los fastidiosos cálculos de que se quejaba su padre. Sus carrozas de cinco centavos —primera compañía de ómnibus de París— representan un intento notable en el proceso del desarrollo prodigioso de los Transportes colectivos de la región parisienne.

⁹³ En los siglos XVI, XVII y XVIII se realizaron los preludios de los modernos aspectos de la técnica pero con caracteres muy originales que merecían una perspectiva especial y un estudio detallado.

⁹⁴ El adelanto y la codificación de las técnicas, la adopción de los mejores procedimientos utilizados en el extranjero y el patrocinio o vigilancia de las industrias y corporaciones permitieron obtener productos de buena calidad.

El primer resultado de este esfuerzo fue la creación de las primeras manufacturas⁹⁵ en las que se puede apreciar ya los principales rasgos de la "gran industria" moderna.

Minas y metalurgia.

Durante los siglos XVII y XVIII las fabricaciones industriales derivadas de las técnicas básicas, es decir, del trabajo de las minas y de la metalurgia, alcanzaron una expansión notable. En la técnica de las minas, que en el siglo XVI había alcanzado ya un alto nivel en las minas alemanas, se desarrollaron los procedimientos metódicos de sondeo, descenso, aireación y lucha contra las aguas y fue posible realizar explotaciones más profundas.

La técnica metalúrgica hasta el siglo XVIII estuvo ligada al uso del carbón de leña y su desarrollo ocasionó en todas partes la despoblación de bosques. En Inglaterra, donde la extracción de hulla es fácil, fueron realizados los primeros procedimientos para utilizar el carbón de piedra. En el primer cuarto del siglo XVIII Darby consiguió fabricar fundición tratando el mineral de hierro con hulla transformada previamente en coque. Pero para transformar la fundición en hierro era necesario todavía recurrir al carbón de leña, sólo cuando se inventó la "pudelación" (en 1783) la metalurgia del hierro pudo establecer las bases decisivas que permitirían su extraordinaria expansión en el siglo XIX⁹⁶

Formación de la técnica moderna.

⁹⁵ La gran industria de la Edad Media prosigue en esta época en forma de fábricas dispersas alentadas por algunos grandes comerciantes y en las que se concentraba a veces la producción de muchos artesanos y trabajadores a domicilio.

Las manufacturas, en cambio, por su material y su personal son ya verdaderas fábricas creadas generalmente gracias a los consejos, al dinero y a los privilegios que concedía la administración real. De este modo, con los auspicios de Colbert se fundó, en 1665, la manufactura de paño de Van Robais, en Abbeville y el mismo año las fábricas de cristales de Saint-Gobain, con fabricantes venecianos atraídos por Colbert. Así surgió también bajo el reinado de Luis XIV, la célebre Manufactura de Gobelinos, que tuvo su origen en una primera fábrica fundada por tintoreros de Reims, que el Estado compró y perfeccionó hasta que su producción eclipsó la de todos sus rivales. Esta concentración de instalaciones impulsada y controlada por la autoridad real, contribuyó mucho al perfeccionamiento de las técnicas tanto desde el punto de vista de la calidad de los productos, como desde el punto de vista del rendimiento. Estos efectos fueron especialmente visibles en la industria textil, en la forja y en las fábricas de cristales.

⁹⁶ En la técnica de la pudelación, primero, se transporta la fundición en estado líquido, sin contacto con la hulla cuya combustión se utiliza sólo para suministrar el calor necesario. La fundición líquida se oxida con una escoria ferruginosa que, al quemar las impurezas, suministra hierro en estado pastoso. Hay que recordar que en 1720-1722, Réaumur, en Francia, enseñó científicamente "El arte de convertir el hierro forjado en acero y transformar el hierro fundido (fundición) en hierro dulce", es decir, por una parte la cementación (carburación del hierro en estado sólido) y, por Otra, la de carburación de la fundición en estado sólido (creación de la fundición maleable).

Desde fines de la Edad Media, gracias al empleo de fundición, alambres de hierro y cables metálicos, los equipos técnicos tenían un aspecto moderno que se complementaría luego con el uso de correas en las transmisiones mecánicas y con el perfeccionamiento de las aleaciones. Para poner en funcionamiento los telares mecánicos, para construir las máquinas que las industrias más activas y numerosas de una economía más próspera requerían, para realizar los inventos técnicos que exigían las nuevas necesidades de la época moderna, fue necesario recurrir, en todos los oficios, a los artesanos que por su formación eran capaces de emprender y ajustar las delicadas piezas de las nuevas máquinas. Unos eran carpinteros y ebanistas (porque las antiguas máquinas eran de madera) y otros, cerrajeros y relojeros, en virtud de la precisión y fineza de sus trabajos habituales⁹⁷.

La técnica moderna fue así, al principio, la obra de los artesanos más instruidos, que realizaban, y a veces concebían ellos mismos, admirables inventos. Merced a los esfuerzos de estos obreros y a la acción del poder real, se generalizó el uso de la primera máquina de tejer medias. Concebida al parecer por la inteligencia de William Lee⁹⁸ en 1589, fue construida en Inglaterra; luego reproducida en Francia y perfeccionada en 1686. En el año 1700 en quince grandes ciudades de Francia podía apreciarse ya los resultados de esta iniciativa técnica.

Progresos de la agricultura.

El mismo impulso renovador y el mismo espíritu práctico hicieron sentir su influencia también en las técnicas agrícolas. Son demasiado conocidas la solicitud de Enrique IV para con los campesinos y la tenacidad de Sully. Las clases elevadas siguieron el ejemplo. Olivier de Serres (1539—1619), célebre por su obra *agronomía*, el Teatro de la Agricultura, introdujo en Francia el cultivo de la morera.

⁹⁷ Hasta fines del siglo XVIII las máquinas industriales en su mayor parte estaban fabricadas en madera. Merced al rápido desarrollo de los métodos de refinación y trabajo del hierro durante el final del siglo XVIII, el metal tuvo nuevas aplicaciones y comenzó la construcción metálica de máquinas industriales, y por consiguiente, la producción intensiva de objetos metálicos de uso corriente. Cuatro grandes clases de inventos técnicos fueron base de este gran progreso industrial: El perfeccionamiento general de ciertas herramientas fundamentales, en el desarrollo del laminado, las grandes forjas y la fundición maleable. Si bien cada una de estas conquistas era anterior al final del siglo XVIII, sólo en esa época surgió la posibilidad de su nueva síntesis. De igual modo, el desarrollo de las herramientas, el sistema de fabricación en partes intercambiables y la producción masiva (cuyo primer ejemplo —y el único por mucho tiempo— se refería a la fundición de los tipos móviles de imprenta no alcanzarán su apogeo a pesar de algunas excepciones notables como, por ejemplo, los procedimientos de fabricación en gran serie instaurados en 1700 por Cristóbal Polhem, en Stralsund Suecia para la fabricación de alfileres), hasta fines del siglo XVIII y comienzos del siglo XIX.

⁹⁸ Vicario de Calverton (pequeña población vecina de Nottingham). William Lee se habla graduado en la Universidad de Cambridge. Murió en París, en el año 1610.

El gran aporte que los siglos XVI y XVII hicieron a la técnica agrícola fue la introducción del cultivo forrajero⁹⁹. Con esta innovación, y con la abolición del barbecho se podrá revolucionar la producción de cereales en el siglo XVIII. Por otra parte, a partir de esa época la gran corriente del pensamiento moderno se introducirá en la intimidad de la vida campesina y en la organización de la propiedad y favorecerá como norma la difusión de los nuevos métodos de trabajo. Su expresión universal, en la civilización del siglo XVIII, en todos los sectores, desde los monarcas hasta los campesinos, desde los militares hasta los filósofos, se traducirá por la misma orden: espíritu práctico.

Capítulo 17

El espíritu práctico del siglo XVIII

La preocupación constante de las clases elevadas, y muy pronto de todas las clases sociales en el siglo XVIII, fue buscar lo que es de real utilidad y práctica eficacia, es decir, todo aquello que puede mejorar la condición humana. Los escritores comprueban que todos los conocimientos sólidos de la civilización moderna derivan de los inventos técnicos y no de la especulación de los filósofos. Se pretende que esos progresos sean conocidos y mantenidos hasta sus últimas consecuencias¹⁰⁰.

Voltaire.

Voltaire, portavoz de su época, refuerza el "prejuicio favorable" que se hace sentir en pro de la mecánica. Descubre en el "genio técnico" una forma de invención original, que se aproxima más al instinto creador que a la discusión intelectual: "Al instinto mecánico que existe en casi todos los hombres y no a la pura filosofía, debemos las artes".

Franklin.

⁹⁹ La introducción de ciertos cultivos exóticos data de la misma época. Estas innovaciones no tuvieron una aplicación sistemática hasta el siglo XVIII.

¹⁰⁰ Ya a fines del siglo XVII Locke enrostraba a los cartesianos que hablaban constantemente de máquinas pero que no habían construido todavía automóviles.

"Tengo allá dos caballos que desde hace quince días no hacen más que comer. Como esto no me beneficia desearía que los señores cartesianos inventaran máquinas que funcionaran a voluntad y que no hubiera que alimentarlas con heno, ni avena cuando están ociosas".

Franklin fue ídolo de los parisienses y de todo el siglo XVIII no sólo por la mezcla de delicadeza y modales rústicos y por su forma franca de hablar, sino por la inmensa fama de su espíritu práctico. Había sido el primero en captar el rayo y en divulgar el pararrayos; además, inventor de una cantidad de pequeños mecanismos ingeniosos que le facilitaban la vida diaria. Entre otros inventos se citaba una especie de "brazo mecánico con el cual podía alcanzar los libros de su biblioteca por más altos que estuvieran colocados. El siglo XVIII alentaba este tipo de inventos porque estaba aún vivo el recuerdo del espectáculo contradictorio que ofrecían las viejas técnicas que obligaban a utilizar al máximo la fuerza de los hombres para satisfacer las necesidades de una producción cada vez más intensa y refinada. En algunas tejedurías o en algunas minas, por ejemplo, la fatiga física o el esfuerzo de atención eran excesivos¹⁰¹

Diderot.

Diderot realizó el esfuerzo más serio y perseverante del siglo XVIII para honrar el progreso de las técnicas. Para responder al deseo de Leibniz. Diderot quiso estudiar personalmente las artes industriales, determinar sus mejores procedimientos.

Los fabricantes de autómatas.

Mientras Diderot observaba, recogía y describía los procedimientos de los artesanos¹⁰² y los mecanismos que una larga tradición técnica había perfeccionado, otros espíritus modernos se ingeniaban para prolongar esos mecanismos y hacer que ejecutaran los movimientos mismos de los seres naturales: trataban de fabricar autómatas. Los inventores y fabricantes de autómatas, cuya fama trascendió el siglo XVIII, fueron en ciertos aspectos precursores del maquinismo moderno. En

¹⁰¹ Esto ocurría aún en 1765 cuando las obreras tenían que tirar los hilos de urdimbre en el telar de mano, y en el caso de los obreros, obreras y niños de algunas minas francesas en los alrededores de Saint-Étienne.

¹⁰² El ideal de Diderot hubiera sido instalarse en el banco mismo del artesano, en el laboratorio del químico o en el taller del pintor para observar, analizar y describir los materiales, aparatos y tornos manuales. En realidad en este nuevo campo tuvo precursores: La herencia que ellos dejaron y el fruto de sus observaciones permanecen en las admirables "tablas" de la Enciclopedia, notable eslabón en la historia de las obras de enseñanza técnica, si no por su originalidad, por el impulso que transmite. Mucho antes de que apareciera la Enciclopedia, la Academia de Ciencias había empezado la preparación de la Descripción de las Artes y los Oficios. Diderot seguramente se inspiró en esta gran empresa que merece ser citada.

efecto, sus esfuerzos contribuyeron a preparar el espíritu para concebir las máquinas que remplazarían completamente la acción humana¹⁰³.

Máquinas para hilar y tejer.

Desde comienzos del siglo XVIII la curiosidad de los sabios, la esperanza de los filósofos y la ingeniosidad de los prácticos, bajo la tutela del poder central, contribuyeron en Francia al progreso de las técnicas, pero sin olvidar factores económicos o demográficos.

A fines de ese mismo siglo, en Inglaterra, a libre competencia y la presión que las necesidades económicas ejercían sobre los industriales, aceleraron el desarrollo de algunos inventos y favorecieron su perfeccionamiento definitivo. Éste fue principalmente el caso de las técnicas del hilado y del tejido. Las máquinas que se perfeccionaron más pronto fueron los hiladores mecánicos. Eran también las más necesarias porque la producción de los hiladores¹⁰⁴ no alcanzaba a satisfacer la

¹⁰³ El primer inventor de autómatas fue un oficial, señor de Gennes, que construyó, entre otras cosas, un pavo real que caminaba y digería. Presentó a la Academia de Ciencias un proyecto de "telar" mecánico, que el Journal del Savanti, en 1671, describía en los siguientes términos: "Un molino a cuyo movimiento se aplican todas las piezas del telar ordinario del tejedor". En el siglo XVIII VAUCANSON perfeccionó esta idea. El camino del automatismo pasa por otro invento de Vaucanson, retomado luego por Jacquard, referente a la hechura de los tejidos. Más adelante veremos lo que se relaciona con la población misma.

Vaucanson fue también, al principio, un fabricante de autómatas y precisamente a este género de creaciones debe su fama. Cuando todavía era un joven obrero fabricó un pavo que nadaba, devoraba granos y los digería; asimismo construyó el áspid, el flautista y el tamborilero. Estas admirables creaciones, que alcanzaron un éxito resonante, eran curiosidades y no mecanismos útiles, aunque el espíritu del siglo sacó provecho de ellas. El Estado, por intermedio del Ministro de Finanzas, para aprovechar el genio de un simple mecánico decidió orientarlo hacia el perfeccionamiento de las artes industriales. Vaucanson fue nombrado inspector de las manufacturas de seda. Después de haber estudiado en el lugar, es decir, en las manufacturas piamontesas, los procedimientos de devanamiento y torsión de los hilos de seda, inventó en 1741 un nuevo aparato para este trabajo y un nuevo torno para retorcer, es decir, para unir varios hilos de seda natural tal como salen del capullo del gusano de seda. En 1747 fabricó un telar para elaborar seda en el que no se necesita la fuerza humana; "una máquina con la cual un caballo, un buey o un burro hace géneros mucho más hermosos y perfectos que los que realizan los más hábiles tejedores de seda. Sobre el telar se ve cómo, sin la intervención del hombre, se fabrica el género, es decir, observase cómo se separa la urdimbre, cómo la lanzadera pasa a través de la trama y cómo el batán golpea el género con una precisión y una regularidad que la mano del hombre jamás podría alcanzar". (Descripción del Mercure de France de esa época.) Este telar no se utilizó por temor de la desocupación o bien por imperio de las viejas reglamentaciones de fabricación. (Su primera aparición fue acogida por una sublevación de los obreros de Lyon.) Jacquard encontró ese telar en el Conservatorio de Artes y Oficios, lo restauró y perfeccionó.

¹⁰⁴ Entonces se hilaba todavía con rueca, huso o torno más o menos perfeccionado. En la última mitad del siglo XV las obras de Leonardo de Vinci y de sus contemporáneos anuncian el gran progreso mecánico de las industrias textiles. Desde principios del siglo XVI hasta la tercera década del siglo XVIII, ningún invento verdaderamente significativo hubo en el campo del hilado. Al parecer la concepción original de la moderna máquina de hilar de Wyatt es contemporánea de otro gran invento textil, el de John Kay: La lanzadera volante, que marca una fecha muy importante en la historia de la máquina de tejer (1733). Las necesidades económicas favorecieron el desarrollo de las hiladoras automáticas. Sin embargo se adoptó esta técnica porque los obstáculos mecánicos que presenta el hilado automático son menores. En efecto, dos grandes ideas técnicas bastaron para realizar el hilado automático: La aplicación de rodillos para el "manipuleo" del hilo y el montaje de los husos sobre un carro móvil; de este modo es posible reproducir con la máquina la forma esencial del movimiento del hilo tal como se realiza en el hilado a mano.

demanda de materia prima de los tejedores¹⁰⁵. Un pequeño comerciante, Arkwright se hizo célebre en esa época por haber hecho construir un telar hidráulico (water-franze) que fabricaba un hilo fuerte y resistente. Sin embargo parece que Arkwright adoptó —o plagio— ideas ajenas. En todo caso tuvo predecesores o émulos mucho más ingeniosos en las personas de Wyatt, luego Wyatt y Paul (por lo menos desde 1738), y de Hargreaves el cual creó en 1765—1767 la célebre spinning jenny especie de torno con varios husos, que al principio funcionaba a mano.

En 1774 Samuel Crompton, pequeño propietario y artesano con extraordinarias dotes de mecánico, perfeccionó considerablemente el spinning—jenny y al combinarlo con ciertos elementos del water-frame creó la mule jenny (llamada así, en tono de burla, por su carácter híbrido): máquina notable, capaz para un gran desarrollo mecánico y con la que se obtenía un hilo más fino que el de India. La situación cambió entonces radicalmente pues la cantidad de hilo producida era mayor que la que podían utilizar los tejedores aún con el uso de la lanzadera volante. Esta situación estimuló el ingenio del pastor Cartwright: en 1784 intentó éste hacer funcionar un telar como se hacía marchar las marionetas en las ferias de Londres". Consiguió fabricar esa máquina, que fue el antepasado lejano de todas las que luego construiría Inglaterra, y que más tarde exportaría a Francia y a todo el continente¹⁰⁶.

Capítulo 18

La función práctica de la ciencia

Desde el siglo XVIII se vislumbra uno de los aspectos esenciales del progreso técnico, que se refiere a su unión cada vez mayor con los descubrimientos de la ciencia. En el siglo XVIII la ciencia no está todavía en condiciones de revolucionar, como lo hará más tarde, la actividad industrial, pero desempeña un papel práctico considerable.

¹⁰⁵ En efecto, después de la adopción de la "lanzadera Volante", inventada por John Kay en 1733, la producción de los tejedores aumentó mucho. Esta lanzadera que lleva el hilo de trama se desliza rápida por una ranura y se la puede mover con una sola mano. En los antiguos telares, por el contrario, la lanzadera pasaba de una a otra mano en toda la extensión de la pieza que tejía el obrero.

¹⁰⁶ Las ideas técnicas de Cartwright eran de suma importancia pero no fueron bien realizadas. El desarrollo de las máquinas de tejer en Inglaterra, a fines del siglo XVII, debió buscar otros caminos y construir muchos otros modelos antes de alcanzar soluciones verdaderamente prácticas.

La astronomía y la navegación.

Esta orientación se hizo sentir especialmente en el campo de la astronomía, ciencia aparentemente muy desdeñada. Se tradujo en el progreso de los medios de observación y en la construcción de relojes cada vez más exactos. La seguridad y la economía de la navegación dependían, es evidente, de la posibilidad de determinar con precisión la posición de los barcos en el mar, o sea, del problema de las longitudes¹⁰⁷.

Los marinos del siglo XVII poseían ya Verdaderos "barcos" modernos, muy superiores a las galeras del siglo XVI, por el aumento y distribución del Velamen y por la justeza de su regulación. Sin embargo, para conocer su posición en el mar, o la posición de las tierras que deseaban alcanzar, debían navegar, como sus antecesores, "por aproximación". Un método consistía en colocarse en la latitud¹⁰⁸ del lugar adonde querían llegar y dirigirse hacia el este o hacia el oeste, hasta divisar la tierra, método muy lento y capaz de originar grandes errores. Empero, subíase de dónde podría llegar la solución del problema: era necesario determinar mejor las longitudes en el mar, esto es, la diferencia entre la hora del lugar donde se encontraba el barco, en un momento dado de su recorrido, y la del punto cuyo meridiano se considera original en la estimación geográfica de ese recorrido.

Se podía calcular la hora del lugar siempre que, por observación astronómica, se conociera la latitud, pero no había cronómetros capaces conservar fielmente y de trasladar a todas partes la hora del meridiano de origen¹⁰⁹. En Inglaterra y en Francia, el Estado y las instituciones científicas —acosados por las necesidades de los armadores¹¹⁰ y de los marinos— instituyen premios y estimulan las invenciones. Las más decisivas y prácticas fueron las de los relojeros Pierre Le Roy y Ferdinand Berthoud, cuyos cronómetros, es decir los "mide tiempo", fueron probados entre

¹⁰⁷ El Observatorio de Greenwich se fundó para desarrollar los conocimientos astronómicos y poder resolver el problema del cálculo de las longitudes en el mar.

¹⁰⁸ La latitud se puede conocer con aproximación si se observa la estrella polar o el sol, a su paso por el meridiano.

¹⁰⁹ Una Variación de cinco segundos por día, admisible en tierra en el siglo XVII, al cabo de 40 días de navegación, registraba en el Ecuador, un error de 50 millas en la longitud. Se hubiera podido salvar esta dificultad con mediciones puramente astronómicas (medición de las distancias angulares observadas entre la luna y una estrella). Pero los instrumentos de observación astronómica y las tablas de los astrónomos no eran muy exactos. Por lo demás, la eficacia de los instrumentos de observación en una embarcación agitada por las olas sería harto problemática.

¹¹⁰ Los armadores de Londres, por ejemplo, dirigieron un petitorio al gobierno de la reina Ana para que se interesara a por este asunto.

1767 y 1772, en climas diferentes, en largos cruceros realizados por la marina francesa. Anteriormente John Harrison se distinguió en este campo y obtuvo, en 1759, el premio de la Royal Society.

El origen y el progreso del "cronómetro"¹¹¹

Tuvo una importancia capital en la solución del problema de las longitudes. El perfeccionamiento que la observación astronómica a bordo alcanzó en esa misma época fue el complemento indispensable¹¹².

Desde ese momento se pudo determinar la posición de los lugares recorridos y descubiertos y rectificar los errores de los viejos mapas. El Estado tuvo, a partir del siglo XVIII el monopolio y la responsabilidad de trazar los mapas hidrográficos en Francia y luego en Inglaterra. Estos mapas eran, a fines del siglo XVIII, tan perfectos que algunos están todavía en uso. Su precisión satisface la exigencia más absoluta de la ciencia y las necesidades urgentes de la práctica marítima.

La ciencia y la técnica de los gases.

La convergencia del espíritu científico y del espíritu práctico, tan apreciada durante el siglo XVIII, alcanza su mayor gloria en la gran innovación industrial de los tiempos modernos: el empleo técnico de los gases y vapores.

En la Edad Media se conoció la expansión del motor hidráulico; en el siglo XVIII y a principios del siglo XIX asistimos al desarrollo extraordinario de la máquina de vapor; más tarde la electricidad y el motor de explosión revolucionarán nuevamente nuestras técnicas.

Las propiedades motrices del vapor eran conocidas de la antigüedad, pero no existía la posibilidad, y ni siquiera (tal vez por eso mismo) surgió la idea de utilizarlas técnica e industrialmente. En la época moderna, por el contrario, esta idea surgió simultáneamente, en distintas épocas, bajo diversas formas, con su carácter

¹¹¹ Fue posible perfeccionar el cronómetro merced a los progresos realizados desde el siglo XVI en la construcción de los instrumentos de medición del tiempo. Estos progresos fueron: Empleo de la expansión de un resorte en reemplazo de la caída de las pesas (principios del siglo XVI), teoría y aplicación del péndulo y, de los relojes, invento del péndulo con espiral reguladora (siglo XVII), la intervención de la mecánica aplicada en la construcción de instrumentos de precisión, el escape de ancla y la solución cada vez más exacta de los problemas relacionados con la regulación del movimiento y la compensación de las temperaturas (principios del siglo XVIII). El desarrollo actual del cronómetro se basa en la obra de Pierre Le Roy y de George Graham.

¹¹² Fue posible obtener micas exactas a pesar del desplazamiento del aparato mediante el empleo de dos espejos unidos a la lente del visor (principio del octante de Newton del cual deriva nuestro sextante) y la construcción minuciosa de todos los elementos de este aparato de medición.

esencial de utilización mecánica. Los hombres modernos, inventores, artesanos o mecánicos, pensaron continuamente en una realización práctica. Por su parte los sabios, para satisfacer una pura curiosidad personal, estudiaron los gases y vapores; realizaron estudios de física experimental y determinaron las primeras leyes de compresibilidad (Boyle y Mariotte); estudios matemáticos sobre la presión y dinámica de los gases, estudios químicos sobre los componentes del aire atmosférico y sus propiedades.

Los aeróstatos.

Todos estos estudios obtienen un resultado sorprendente a fines del siglo XVIII. El hombre, sustraído por primera vez a su condición de animal terrestre, consigue elevarse en la atmósfera, en un globo gaseoso. No obstante la iniciativa de los hermanos Montgolfier (1782); —Los aeróstatos de Charles y de Pilatre de Rozier— son simples aplicaciones, si bien arriesgadas, de una propiedad muy elemental de las diferencias de densidad entre los fluidos gaseosos¹¹³.

La máquina de vapor.

La invención y la realización práctica de la máquina de vapor es un hecho mucho más complejo. En esto la técnica se anticipó, en cierto modo, al poder de la ciencia pues era difícil establecer la teoría de los fenómenos. Esta teoría sólo estuvo suficientemente elaborada en el siglo XIX, cuando la ciencia penetró la naturaleza íntima de los intercambios térmicos.

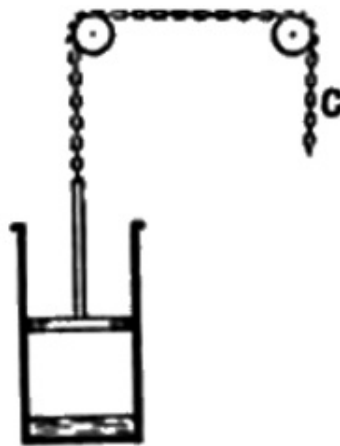
La máquina de vapor es un ejemplo notable de los anticipos del genio experimental. En efecto, un extraordinario precursor, Salomon de Caus, al desentrañar las oscuras intuiciones de Cardan (1501—1576) y de Porta (1538—1615) estableció con claridad la diferencia entre el aire y el vapor de agua, y definió el mecanismo de la condensación por refrigeración. Presintió que los dispositivos de Herón, que utilizan Vapor de agua, podían tener aplicaciones de extraordinaria utilidad práctica. Un arquitecto italiano, Giovanni Branca, en un dibujo muy curioso¹¹⁴, bosquejó, en

¹¹³ El genio técnico del siglo XVIII se manifestó realmente con el perfeccionamiento del globo esférico. La utilidad del mismo quedó demostrada durante las guerras de la Revolución. En forma de globo cautivo servía para observar los movimientos del enemigo.

¹¹⁴ El dibujo representa una caldera coronada por una de estas aplicaciones. (Respecto de la historia de la tapa en forma de cabeza humana de cuya boca escapa el vapor. Éste se dirige hacia una rueda de álabes y la hace girar.

1629, una de estas aplicaciones. (Respecto de la historia de la máquina de vapor y de las turbinas, recurrirnos ante todo, y a veces en forma directa, a la obra de Usher.)

Otros espíritus ingeniosos, como el abate Hautefeuille o el sabio Huygens, se anticiparon al invento de nuestro motor de explosión y usaron, entre los años 1678 y 1682, la expansión de los gases producidos por la combustión de la pólvora de cañón. Después de muchos tanteos, Denis Papín, en 1690, logró el verdadero concepto y realizó la primera máquina de vapor¹¹⁵. Aplicó su máquina para hacer funcionar un barco de ruedas, pero los barqueros del Wesser destruyeron este barco experimental de ruedas de álabes, accionado por la mano de los hombres.



**FIG. 18. Esquema del dispositivo de Papín
alrededor de 1690 (VIERENDEEL).**

La bombas de fuego.

A pesar de estos extraordinarios anticipos, y del ingenio de los inventores y de las investigaciones de ciertos sabios, la máquina de vapor no conquistó el mundo de la industria por esta vía sino por el efecto irresistible de las necesidades prácticas. La idea de nuestras máquinas de vapor parece haber estado latente desde la antigüedad en el genio técnico. En la época moderna este genio técnico se vio presionado por las necesidades de la industria minera. Después de usarse durante

Esta rueda, por medio de un juego de engranajes levanta y baja los mazos en un mortero. Este aparato en realidad no es el antepasado de la máquina de vapor propiamente dicha, sino de las turbinas de vapor con impulso.

¹¹⁵ Al parecer imaginó la biela, que transforma el movimiento rectilíneo del émbolo con un movimiento circular y permite de este modo el uso industrial; imaginó también la válvula de seguridad con palanca y contrapeso.

mucho tiempo la "bombas" de vapor, como se decía entonces, las "bombas de fuego"; se logró obtener el motor de vapor. Estas bombas fueron inventadas en Inglaterra para desagotar las minas pues el alcance de las bombas ordinarias era sólo de 10,336 m¹¹⁶.

Es posible que la idea madre de todas las bombas de fuego (y por lo tanto de nuestras máquinas de vapor) haya tomado cuerpo a partir de 1628 en los trabajos de Edward Somerset, segundo marqués de Worcester. Éste, en el transcurso de una vida muy agitada, conmovida por tormentas políticas, concibió y realizó una nueva máquina elevadora combinando el uso de la presión directa del vapor (para elevar el agua de los tanques de la máquina) con la formación de un vacío parcial (para elevar el agua desde la fuente hasta los tanques). Este concepto (garantizado por el monopolio de 99 años que otorgó el Parlamento, en 1663) constituye por sí mismo un progreso notable. Así fue cómo la combinación mecánica de los efectos de la presión del vapor y los del vacío creado por condensación, ofreció posibilidades extraordinarias a la producción de energía motriz, posibilidades que por primera vez se manifestaban con tanta nitidez.

¹¹⁶ Así lo comprobaron los poceros de Venecia y pudo explicarse por la noción experimental de la presión atmosférica gracias a las reflexiones de Galileo y a los trabajos de Torricelli y Pascal. La presión atmosférica destruyó la leyenda según la cual la naturaleza tenía "horror del Vacío"; ¡pero un horror limitado a una profundidad de 10,336 m.! Los trabajos independientes de Otto de Guericke sobre la bomba de vacío completaron estos conocimientos científicos.

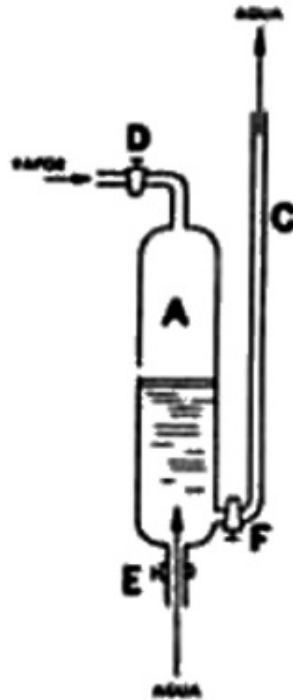


FIG. 19. Esquema del funcionamiento de la máquina de Savery, de 1698 (VIERENDEEL).

La máquina de Savery.

Savery, cuya carrera comenzó en 1698, creó una máquina que era la realización industrial de esta idea. El procedimiento utilizado consistía esencialmente en refrigerar (por medio del agua fría) un tanque en el que antes se había introducido vapor de agua. Al condensarse este vapor originaba el vacío en el tanque y el agua que se deseaba bombear penetraba en el tubo de aspiración. Para desagotar por un tubo de vaciado bastaba introducir otra vez vapor de agua en el tanque. Este mecanismo rústico se utilizó durante mucho tiempo en las minas inglesas.

El mecanismo es el siguiente:

Fase 1: El vapor llega por el grifo D y llena el tanque A, los grifos E y F están cerrados.

Fase 2: Se cierra el grifo D y F permanece cerrado. Por refrigeración se condensa el vapor de A. El agua sube por el grifo E y llena A.

Fase 3: Se cierra el grifo E mientras D y F quedan abiertos. El vapor desagota por el tubo C en el nivel superior y el vapor llena A.

Fase IV: Se recomienza el ciclo anterior a partir de la Fase II, etcétera.

La máquina de Savery, de construcción simple y bajo costo, prestó grandes servicios. Todavía se la emplea con el nombre de "pulsómetro" para desagües temporarios cuando no es necesario tener en cuenta el consumo, porque hay que recordar que esta máquina consume mucho vapor y, por lo tanto, mucho carbón. Al principio, otro de los defectos graves de esta máquina era el peligro de explosión de las calderas. En efecto, es la bomba de Savery, la presión del vapor está proporcionada a la altura de descarga. Cuando esta altura traspasaba ciertos límites, la presión era superior a la resistencia de las calderas que, en esa época, no eran muy resistentes. Ahora bien, las minas de Gran Bretaña alcanzaban cada vez mayor profundidad y no se las podía desagotar mediante viejas técnicas (malacates, molinos de viento). Como la máquina de Savery no resolvía el problema cuando la profundidad era grande y el volumen de agua considerable, fue necesario inventar un nuevo aparato. Newcomen, obrero forjador, realizó el invento que transformó el destino de la bomba de vapor.

La máquina atmosférica de Newcomen.

La máquina de Newcomen era una bomba, una "bomba de fuego" pero, por el principio que aplicaba no podía considerarse una derivación directa de la de Savery. Se trataba en realidad de una síntesis original que daría lugar a todos los perfeccionamientos ulteriores. Parte de los elementos de esta síntesis deriva de los trabajos de Otto de Guericke sobre la bomba de vacío, y de los estudios de Huygens y Denis Papin. De modo especial el uso de un cilindro con émbolo móvil (con junta de cuero o de sogas enceradas y una capa de agua en el circuito) se relaciona con esta tradición. El vapor actúa en el cilindro con dos tiempos. En el primer tiempo el vapor empuja el émbolo en el cilindro hasta la parte superior de su recorrido: en el segundo tiempo la condensación del vapor (por inyección de agua) determina un Vacío en el cilindro y el émbolo desciende por la presión atmosférica. En el dispositivo de Newcomen este segundo tiempo es el verdadero tiempo motor, razón por la cual se lo denomina "máquina atmosférica". Newcomen, en su Síntesis mecánica, emplea además otro elemento capital, en todo diferente de los

anteriores: el fiel de la balanza o balancín que transmite¹¹⁷, el sistema de bombas, el esfuerzo ejercido por la presión atmosférica.

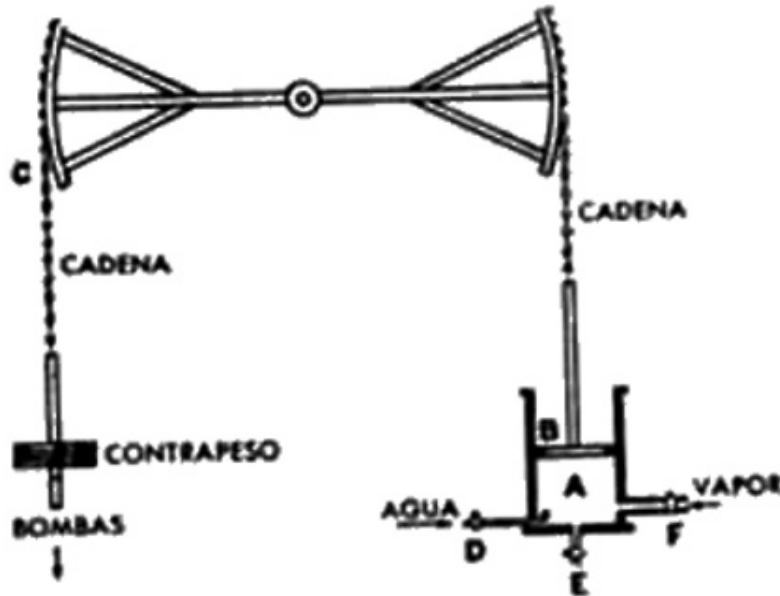


FIG. 20. Dispositivo de Newcomen a partir de 1705 (VIERENDEEL).

Como el funcionamiento de la máquina se regía por la llegada de vapor, la inyección de agua y la evacuación, era necesario en principio la intervención de la mano del hombre en cada etapa de la maniobra para abrir y cerrar los grifos correspondientes. Cuenta la tradición que un niño, encargado de este trabajo, en el afán de liberarse del mismo para jugar con sus camaradas, pensó conectar la apertura y el cierre de los grifos con el movimiento mismo del balancín. En realidad, documentos recientemente encontrados nos autorizan a pensar que esta idea formaba ya parte de la Síntesis genial de Newcomen: martinets especiales

¹¹⁷ El mecanismo es el siguiente: Primer tiempo: El vapor que sale de una caldera determinada de la máquina (preciosa garantía de seguridad) llega por el grifo F al cilindro A, levanta el émbolo B venciendo la presión atmosférica, el frotamiento del émbolo y las resistencias pasivas. El balancín, liberado por la ascensión del pistón y arrastrado por el peso del vástago de la bomba (y por contrapeso) desciende. Los émbolos de las bombas se encuentran así en el fondo; Segundo tiempo: Cuando el pistón B llega al final de su recorrido se cierra F y se introduce por D un chorro de agua que condensa el vapor. El agua y el vapor son desagotados por E; en el cilindro reina el vacío. La presión atmosférica actúa sobre la faz superior del émbolo B y levanta por el lado C toda la carga de los pistones de las bombas y de la columna de agua que las mismas llevan y que se vierte en el nivel superior. Vuelta al primer tiempo. (Cuando el pistón B llega al final del recorrido recomienza el ciclo: Llegada de vapor, etcétera.)

maniobraban automáticamente, en el momento preciso, los grifos y válvulas que debían intervenir. Parece que el invento de Newcomen poseía ya el automatismo de la máquina de vapor¹¹⁸.

A pesar de que esta máquina no era más que una bomba de fuego, señaló el verdadero comienzo del uso industrial del vapor como fuente de energía. Se empleó mucho en Inglaterra y Holanda para desagotar las minas, secar terrenos y distribuir agua en las ciudades. Estaba aún en uso en 1830.

Varios fabricantes perfeccionaron la máquina de Newcomen pero no consiguieron hacerla más económica. La explotación de las minas profundas sólo podía realizarse con esta máquina pero la misma consumía gran parte del producto de esa explotación. Tanto los ingenieros como los industriales tenían conciencia de este defecto aunque no eran capaces de remediarlo. La máquina de Newcomen adquirió decisiva perfección con la obra genial de Watt: obra científica y crítica más bien que de Síntesis, pero tan importante que se considera, con justo derecho, como una verdadera creación.

Obra crítica de Watt sobre la bomba de fuego.

Watt, hijo de obreros, nacido en 1736, se instaló en Glasgow como fabricante y, sobre todo, como reparador de instrumentos de física general. La Universidad de Glasgow, en 1763, le confió, para su reparación, un modelo de máquina Newcomen. Watt se apasionó por el estudio de esta máquina; estudió detenidamente las leyes de su funcionamiento y quiso conocer las causas de su gran consumo. Descubrió (Si no lo aprendió de Black) la existencia y el papel del calor latente de vaporización (descubierto ya por el sabio Black, también de Glasgow), es decir que el vapor contiene, a igual presión y temperatura, mucho más calor que el agua de la cual proviene. El esfuerzo de Watt para economizar y utilizar al máximo el calor producido en el hogar de la máquina por la combustión del carbón tuvo una aplicación científica: había que evitar las condensaciones intempestivas del vapor

¹¹⁸ La primera máquina atmosférica, hacia 1712, daba Seis golpes por minuto; cuando estuvo completamente perfeccionada alcanzó a dar de doce a quince golpes por minuto. Los cilindros, al principio eran de latón, luego de hierro. Una de las particularidades más notables y más interesantes de esta máquina era que su potencia podía ser aumentada considerablemente (con sólo modificar el diámetro del émbolo y su recorrido) sin que la presión fuera muy superior a la presión atmosférica.

(excluida la condensación necesaria) puesto que la sola existencia del vapor exige un gran consumo de combustible.

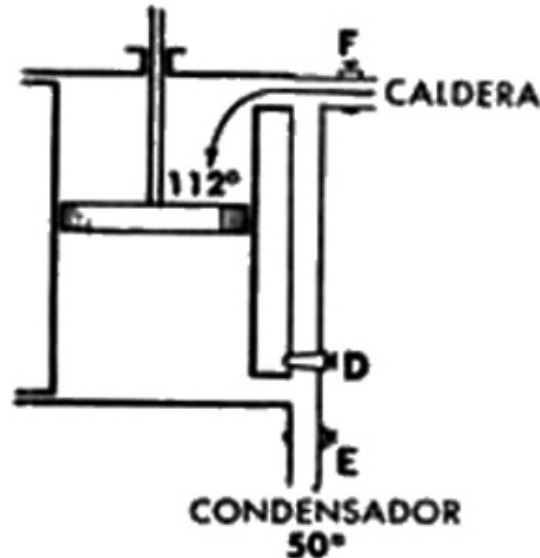


FIG. 21. Esquema del cilindro de Watt hacia 1775 (VIERENDEEL).

Para obtener este resultado Watt perfeccionó todos los puntos sensibles del mecanismo de Newcomen. Mejoró la circulación de la llama alrededor de la caldera para utilizar al máximo el efecto del combustible; además trató, por todos los medios, de evitar las refrigeraciones inútiles, que originan condensaciones inoportunas. Para que los conductos de vapor y el cilindro se mantuvieran lo más calientes posible, los recubrió de una sustancia aislante (y más tarde con una camisa de vapor). Todas estas innovaciones son en realidad secundarias si se las compara con la reforma capital de Watt. Tal reforma consiste en realizar la condensación fuera del cilindro. Esta operación se efectuaba antes por inyección de agua en el cilindro pero, de este modo, el cilindro se enfriaba mucho y además la condensación era defectuosa pues subsistía una gran contrapresión opuesta al efecto de la presión atmosférica en el émbolo. Watt hizo que la condensación se realizara en un recipiente especial y redujo al máximo la temperatura de esta cámara separada de condensación llamada condensador.

Con un último perfeccionamiento decisivo evitó el contacto del cilindro con la atmósfera, contacto que en la máquina de Newcomen era inevitable y periódico pues se operaba en cada descenso del émbolo. Solucionado este problema, Watt pudo prescindir de la presión atmosférica. El cilindro de Watt está cerrado en sus partes superior e inferior y funciona por la presión del vapor sobre el émbolo y no por la presión atmosférica¹¹⁹.

A partir de 1775 comenzaron a hacerse sentir los efectos de la obra crítica y constructiva de Watt. La bomba de fuego de Newcomen fue remplazada por la bomba de fuego de Watt que era una máquina muy perfeccionada. Pero en 1770, en consecuencia de las investigaciones y de la importancia de los trabajos realizados durante todos esos años, Watt estaba arruinado y endeudado¹²⁰, se desalentó, y su obra quizás habría abortado sí no se hubiera encontrado con un gran industrial de espíritu amplio, el señor Boulton, que adivinó el porvenir de la máquina de Watt, suministró al inventor los fondos necesarios para proseguir la empresa y se asoció con él, en 1780, lo que dio origen a la célebre firma Boulton & Watt.

La máquina de doble efecto.

La consecuencia lógica del invento del condensador (que evitaba el uso de la presión atmosférica en el trabajo de la bomba de fuego), era tratar de enviar el vapor sucesivamente de una a otra cara del émbolo y condensarlo cada vez. De esta manera se podía crear un movimiento alternado en el que cada golpe fuera motor. De esta idea, que duplicaba la potencia de la máquina, surgió la máquina de doble efecto, primer tipo de nuestros motores de explosión, es decir, de las máquinas motrices capaces de adaptarse a cualquier trabajo mecánico. La adaptación universal de la máquina de vapor era posible únicamente si el

¹¹⁹ El funcionamiento es el siguiente: I: El vapor llega a la caldera por encima del émbolo y lo hace descender (está abierta la comunicación E con el condensador). El émbolo baja (tiempo motor)

II: Al estar el émbolo en la parte baja de su recorrido las válvulas F y E se cierran (en otras palabras queda cerrada la comunicación con la caldera y con el condensador) y la Válvula D se abre. Se equilibran así las presiones en las dos áreas del émbolo. Éste, arrastrado por el peso suspendido en el extremo C del balancín (vástago de las bombas, contrapesos, etc.) se eleva; III: Al estar el émbolo en la parte más alta de su recorrido la válvula D se cierra y F y E se abren, y recomienza el ciclo anterior.

¹²⁰ En efecto, los trabajos de Watt pronto lo arrastraron más allá de las posibilidades de su tiempo en materia de construcción de máquinas. El mecanismo que él proponía en muchas de sus partes planteaba problema que ningún industrial del hierro podía resolver en esa época. Los inventos de Watt registran un progreso similar en la construcción metálica.

movimiento alternativo podía transformarse en movimiento regular de rotación. Teóricamente esta transformación era posible en la vieja máquina de Newcomen, máquina cuyo émbolo estaba animado de un movimiento alternativo rectilíneo; en la realidad, con una máquina de efecto simple como la de Newcomen, no se podía obtener en forma práctica transformación deseada. El movimiento de rotación regular se obtuvo sólo con la máquina de doble efecto, con dos tiempos motores, al adaptar en el balancín de Newcomen un "paralelogramo" articulado y una biela que accionaba una manivela colocada en un árbol horizontal móvil en sus cojinetes. La velocidad de rotación se regulaba (condición muy importante para el uso industrial) por medio de un volante o de un regulador de péndulo (que controlaba la admisión del vapor). De este modo se patentó en 1781—1782 la máquina de doble efecto, creadora universal del movimiento industrial.

Los perfeccionamientos de la máquina de vapor.

La expansión. Watt no se limitó al estudio crítico de la máquina de Newcomen y a su perfeccionamiento decisivo. Ideó la "camisa de Vapor", con lo que se anticipó a muchos progresos técnicos y científicos. Pensó también utilizar la expansión. Al comprobar la violencia del movimiento del vapor hacia el condensador, sospechó que este vapor podía suministrar cierta cantidad de trabajo si en lugar de perderse directamente en el condensador se utilizaba su expansión en el cilindro motor. Después de Watt, la expansión creciente y luego la expansión fraccionada (mediante dos o varios cilindros) figuran entre los perfeccionamientos más importantes de la máquina de vapor.¹²¹

La alta presión.

La máquina de vapor no alcanzó su desarrollo completo, sobre todo respecto de la técnica de los transportes, hasta que se recurrió a la alta presión. Es muy conveniente producir y emplear vapor a alta presión porque con un poco más de carbón que el vapor a baja presión tiene un rendimiento mucho mayor. La alta presión, al reducir los costos y el peso, ofrece tales ventajas que su uso ha regido

¹²¹ En este sentido tenemos que señalar el sobrecalentamiento del vapor y el empleo de grandes velocidades de funcionamiento con los que es posible reducir al máximo las pérdidas ocasionadas por los intercambios de calor entre el vapor y las paredes. Los efectos de la inercia en el movimiento alternativo limitan el uso de las grandes velocidades. El empleo de altas velocidades no adquirió pleno desarrollo hasta la turbina de vapor.

todo el progreso de las aplicaciones modernas del vapor. Los inventos correspondientes derivan también de la línea de inventos¹²² de Papín. Antes de finalizar el siglo XVIII hubo algunas tentativas en cierto sentido, pero las mismas sólo podrían tener éxito cuando la industria fabricara calderas convenientes. Esto fue posible por los progresos metalúrgicos realizados a fines del siglo XVIII. Oliver Evans (en Estados Unidos) y Richard Trevithick (en Inglaterra) consiguieron las realizaciones más notables de esta época en la técnica de la alta presión. Merced a sus esfuerzos, que abren la posibilidad de grandes aplicaciones industriales, el siglo XVIII se cierra con una serie de inventos maestros, digna de asociarse a la extraordinaria epopeya de los creadores del maquinismo moderno.

El esclavo mecánico.

La creación de la máquina de vapor, fuente universal de energía motriz, aplicable a todos los trabajos industriales, marca una etapa decisiva en la historia de las técnicas. La flexibilidad de adaptación de este nuevo productor de fuerzas, su regularidad, su independencia de circunstancias naturales tales como el caudal de un río o la regularidad del Viento, hicieron de esta máquina el esclavo mecánico por excelencia. La mano y las fuerzas del hombre se limitaban a ejercer un control inteligente. Creadas para responder a las necesidades del trabajo en las minas, aplicadas a las diferentes operaciones mecánicas, metalúrgicas y a los transportes, las distintas formas de la máquina de vapor transformaron completamente las condiciones de la industria moderna, en todos los campos. Esto originó una verdadera revolución industrial que comenzó en Inglaterra pero cuyas consecuencias se extendieron en el siglo XIX por toda Europa y todo el mundo civilizado.

Capítulo 19

Revolución industrial y revolución agrícola

La industria en Inglaterra.

¹²² Apoyado en estos principios Cugnot hizo funcionar en Francia, en el año 1770, un carro de vapor para arrastrar las piezas de artillería.

Las islas británicas se industrializaron más rápidamente que los otros países europeos por una serie de circunstancias favorables. Cuando el espíritu moderno se orientaba sin titubeos hacia el perfeccionamiento y la utilización completa de las técnicas, en Inglaterra se daba un conjunto de condiciones capaces de exaltar esta nueva forma de actividad humana: Un reciente imperio colonial, mercados exteriores que conquistar¹²³, una acumulación de capitales producidos por las grandes exploraciones. Además de estas causas materiales existían otras morales y políticas: como la actividad individual no tenía trabas, los empresarios pudieron desplegar sin límites su ingenio y su codicia. Sin embargo todas estas circunstancias no habrían bastado para determinar la prodigiosa transformación del mundo moderno si la agricultura no hubiera colaborado al cambiar radicalmente la técnica de producción y el estatuto de los trabajadores.

Revolución agrícola.

En efecto, en la segunda mitad del siglo XVIII los métodos de la agricultura conocieron una era de progreso mientras que los pequeños agricultores sufrieron una era de decadencia, miseria y despojo. Estos dos efectos contribuyeron al progreso de la industria. Las formidables concentraciones humanas que la técnica moderna exigía y fomentaba, fueron posibles porque muchos agricultores tuvieron que abandonar sus tierras, y al mismo tiempo, porque se pudo aumentar la producción de las mismas. Estos dos movimientos se encadenan íntimamente y están ligados al progreso general del espíritu técnico.

En Inglaterra, más rápida y completamente que en Francia, la revolución industrial llegó acompañada de una verdadera revolución agrícola: revolución de aspecto jurídico pues consagraba la libertad del cerco permanente; revolución de aspecto social porque con ella se eliminaba a los propietarios más pobres, revolución técnica sin duda porque abolió el barbecho y mejoró los procedimientos de cultivo¹²⁴

¹²³ La decadencia de Holanda y de España hizo de Inglaterra una gran potencia colonial y ésta se vio obligada a desarrollar su comercio y por lo tanto sus industrias, las de la lana y el algodón, en particular, que suministraban objetos manufacturados cuya exportación estaba asegurada en Europa y en el mundo entero.

¹²⁴ El espíritu moderno, que tendía a liberar la actividad económica de todas las trabas de las antiguas reglamentaciones en beneficio de la iniciativa individual, se manifestó de manera singular en el siglo XVIII por grandes cambios en la propiedad territorial. La opinión de los círculos esclarecidos, los intereses de los grandes y medianos propietarios, todo conspiraba para condenar las viejas costumbres. Se reclamaba, por ejemplo, la libertad de cerco permanente en las propiedades individuales, la división de las tierras comunales y la supresión de los derechos colectivos de pastoreo o de paso. El favor del poder, la presión de las leyes económicas, los mismos

El despojo irresistible los pequeños trabajadores de la tierra y la expansión de las grandes y medianas propiedades tuvieron lugar simultáneamente con las mejoras en la técnica agrícola; con la siembra sistemática de ciertos cultivos se pudo suprimir el periodo de barbecho que cada dos o tres años hacía improductiva la tierra¹²⁵. Con esta innovación sumamente importante se abrieron nuevas posibilidades: a veces se duplicó la producción anterior, a veces ésta aumentó en un cincuenta por ciento. El trabajo de la tierra se tomó eminentemente lucrativo. Además en todas partes se impulsó este tipo de industria. Se fomentó la agricultura mediante sociedades técnicas o con estímulos personales que halagaban la imaginación. Se alentó la selección del ganado¹²⁶ y todo aquello que fuera capaz de aumentar el rendimiento del suelo. Los hombres de negocios, los nobles deseosos de defender su patrimonio, los intereses del Estado, todo contribuía para que, poco a poco, el antiguo trabajo de la tierra se transformara en un negocio bien calculado; una combinación entre el capital, la técnica y los instrumentos de trabajo, combinación menos precisa pero tan exigente como la administración de las industrias mecánicas.

La agricultura, gracias a estas inmensas transformaciones económicas y sociales y también a las transformaciones técnicas correspondientes, contribuyó directamente al progreso de la industria y al desarrollo de las ciudades, que no hubieran podido formarse, sustentarse ni prosperar sin ella. Todo esto hizo posible el extraordinario auge industrial del siglo XIX. Empero esta revolución ocasionó la ruina de los pequeños agricultores, los obligó a abandonar sus tierras, los desarraigó, y creó el proletariado urbano. Las mismas causas preparaban simultáneamente la grandeza material de la civilización contemporánea y su desequilibrio social: su prodigioso auge técnico y su terrible regresión moral.

progresos de la agricultura que encarecían el trabajo y hacían imposible la competencia para los trabajadores sin capital, aseguraron el triunfo de estas nuevas disposiciones que beneficiaban a los nobles y a los grandes propietarios que extendieron sus dominios. Los pequeños propietarios y los trabajadores pobres se vieron obligados a vender sus tierras y emigrar a las ciudades donde la industria los incorporaría a la nueva legión de trabajadores, es decir, al futuro proletariado del siglo XIX.

Después del trigo sembraron plantas forrajeras. También fueron utilizadas las leguminosas (trébol, pipirigallo, alfalfa, con raíces profundas que no exigían del suelo el mismo alimento que el trigo) o vegetales con raíz carnosa, como el nabo o la papa.

¹²⁵ Después del trigo sembraron plantas forrajeras. También fueron utilizadas las leguminosas (trébol, pipirigallo, alfalfa, con raíces profundas que no exigían del suelo el mismo alimento que el trigo) o vegetales con raíz carnosa, como el nabo o la papa.

¹²⁶ Entre otras consecuencias tuvo la de mejorar la calidad del abono.

Quinta parte

Auge de las técnicas durante los siglos XIX y XX

Capítulo 20

Ciencia y técnica

Del empirismo a la ciencia.

El progreso de las técnicas, hasta el Renacimiento, dependía principalmente de las necesidades de la práctica y de la experiencia diaria, en una palabra, del empirismo. Después del Renacimiento, y con mayor nitidez en los tiempos modernos, el progreso técnico está animado por el espíritu. El instinto práctico del siglo XVIII preparó el triunfo de esta tendencia que transformaría al mundo. La ciencia realiza ante nuestras miradas esta transformación.

A partir del siglo XIX las ciencias y las técnicas son ya inseparables: actúan y reaccionan sin cesar unas sobre otras. Ya no es solamente el ideal práctico, expresado en filosofías, lo que orienta ese entendimiento; es este ideal que se materializa en una acción común, en intercambios recíprocos y que origina un aumento extraordinario de los descubrimientos científicos y de los progresos industriales¹²⁷.

La Revolución francesa y la ciencia.

El aumento de potencia práctica, que proviene de la unión efectiva entre la ciencia y la industria, se manifiesta claramente por primera vez durante la Revolución Francesa y las guerras contra la coalición de reyes, y en la forma cómo el imperio napoleónico pudo resistir al bloqueo continental.

Bajo el impulso revolucionario, la movilización "total" de las fuerzas vivas de la nación francesa asoció estrechamente la acción de los sabios al esfuerzo militar y político. Sabemos cómo el Comité de Salud Pública y el gran Carnot, el "organizador de la victoria" animaron las industrias bélicas y la coordinación de las operaciones.

¹²⁷ Entre las innumerables consecuencias de esta unión que se manifiesta a partir de fines del siglo XVIII, hay que recordar las innovaciones científicas de la Revolución, entre otras el sistema métrico y el expresivo nombre de la gran escuela científica fundada en esa época: La Escuela Politécnica.

Los nombres de grandes sabios como Lazare Carnot, Monge y Berthollet están íntimamente ligados a esta nueva modalidad de la guerra. La fabricación de acero, la fundición de cañones, la producción de Salitre, el tratamiento del cuero con nuevos procedimientos más rápidos, más productivos o más simples, recuerdan los esfuerzos de estos sabios. Los químicos trataron de obtener ciertos productos indispensables de los que carecía el país y de sustituir materias que hasta ese momento la industria utilizaba. El bloqueo continental, al privar de azúcar de caña a la Francia de Napoleón, fomentó la producción de remolacha y las correspondientes industrias de transformación. La técnica de la industria del algodón y de la industria del paño progresaron notablemente en esa época en Francia. Estos progresos fueron posibles gracias a la colaboración íntima y confiada¹²⁸ entre sabios e industriales.

Los dos comprenden que sus esfuerzos tienen un objeto común; que es tan pueril ignorar la ciencia en nombre del espíritu práctico como despreciar la industria en nombre de la ciencia pura, de la investigación noble y desinteresada. De este modo los nombres de sabios como Berthollet o Chevreul quedarán ligados a las técnicas tan íntimamente como el blanqueo al cloro y la fabricación de la vela de estearina.

Del instrumento científico al aparato industrial.

Por otra parte la estructura de la ciencia moderna por si misma conduciría forzosamente a la alianza final de laboratorios y fábricas. Basada en la experiencia, y en incesante evolución gracias a mediciones rigurosas, la ciencia exige aparatos de observación, de experimentación y de medición. Estos "instrumentos" de la ciencia son la realización, la materialización directa de los principios, teoremas, leyes, nuevas ideas de los sabios y son, por lo tanto, cada vez más delicados, más complicados, más difíciles de construir. Pero son productivos, permiten utilizar efectos naturales cada vez más sorprendentes y captan o explotan formas de energía no empleadas hasta ese momento. Se trata de procedimientos técnicos nuevos que la industria tiene continuamente a su disposición. Por ejemplo, vemos cómo la "columna de discos" de la industria química es una imitación en mayor

¹²⁸ "Ayer los descubrimientos de los sabios permanecían estérilmente en sus portafolios o en los archivos de las Academias, y los fabricantes no sospechaban que la aplicación de los mismos podía serles muy útil en sus operaciones.

Hoy el fabricante consulta al sabio... existe la mayor confianza entre el fabricante y el químico."

escala del tubo de destilación fraccionada del laboratorio y cómo ciertos aparatos industriales de compresión y licuación de gases derivan de un método de preparación científica y de un aparato de laboratorio.

La industria al servicio de la ciencia.

La ciencia aporta la idea, el método, el modelo y la primera realización; la técnica industrial opera en gran escala, perfecciona los procedimientos prácticos y suministra al sabio materias, metales y mecanismos que él no habría obtenido, con todo su ingenio de artesano y su habilidad manual, sin la ayuda de las máquinas. La ciencia engendra la técnica y en cambio —solo a veces— la técnica permite dar forma a las ideas más audaces de la ciencia.

Progreso de las técnicas.

En los siglos XIX y XX, con este doble impulso, las técnicas se diversificaron en las múltiples ramas de las ciencias físicas, químicas y biológicas.

Óptica.

El extraordinario progreso de los instrumentos ópticos, desde el microscopio hasta el anteojito astronómico y el telescopio, incluidos los prismáticos y el telémetro, demuestra que es difícil separar la parte que corresponde a la técnica de la que corresponde a la ciencia pura. La unión indisoluble, por ejemplo, de la técnica y la ciencia en los célebres instrumentos de la casa Zeiss, de Jena, es ya una regla general. La fotografía, que desde sus orígenes fue explotada comercialmente, está ahora ligada, con todos sus refinamientos, a la vida diaria de la ciencia. El cine, sin el cual no podemos imaginar una ciudad moderna, es un aparato científico apenas transformado, derivado directamente del laboratorio y de la observación biológica.

Los metales.

El trabajo del acero, soporte de nuestra civilización, está controlado paso a paso por instrumentos científicos, tanto en la medición de las temperaturas como en el examen microscópico de los productos obtenidos. "A través de todos los dominios de la técnica se descubre la ciencia y ésta, a veces, impone brutalmente su ley,

revoluciona los métodos, cambia procedimientos bien definidos, realiza atrevidas sustituciones de materiales; lo que ayer era raro y codiciable es hoy vulgar y despreciado. Este hecho es evidente sobre todo en el sector de las industrias químicas.

La química.

El auge que los descubrimientos de Lavoisier y los esfuerzos de la generación revolucionaria dieron a esas técnicas a fines del siglo XVIII no ha disminuido. A la obra de la química mineral fueron agregadas las creaciones de la química orgánica; a las enseñanzas del análisis, las revelaciones de la síntesis. De allí surgió la extraordinaria potencia de la química industrial cuyos efectos gravitan en todas las técnicas, tanto en las técnicas de la materia bruta (metalurgia y colorantes) como en las de la materia viva (abonos y alimentación). O en medicina y cirugía, con el descubrimiento de nuevas sustancias terapéuticas y el uso de anestésicos.

Medicina y cirugía.

En medicina y cirugía se combinaron los progresos de las ciencias de la materia con los de la biología y la fisiología. Los análisis y los instrumentos de física médica por una parte y el análisis metódico de los fenómenos, por otra parte, en realidad transformaron completamente el arte de la medicina.

La cirugía conoció un auge prodigioso en la segunda mitad del siglo XIX. La perfección, la seguridad y la audacia de las operaciones no podían ya compararse con el arte de los prácticos que precedieron, desde los barberos de la Edad Media, hasta las grandes operaciones realizadas durante las guerras de Napoleón. Este progreso notable se debe al descubrimiento y uso de dos técnicas fundamentales: la antisepsia y la anestesia, a las que hay que añadir los perfeccionamientos generales en la concepción y construcción de los instrumentos.

Capítulo 21

La conquista de la energía

El hombre de los siglos XIX y XX, gracias a la estrecha unión entre la ciencia y la técnica, pudo investigar más hondo en el mecanismo de los fenómenos naturales, es decir, emplear fuentes cada vez más eficaces de energía útil, desconocidas o inaccesibles para nuestros antepasados.

De este modo, los descubrimientos científicos prolongan entre nosotros un esfuerzo milenario. Ya en la Edad Media muchas veces la fuerza animal, o la fuerza motriz de los ríos y del viento remplazó a la fuerza muscular del hombre. En la era moderna aparecen energías que estaban más ocultas. La elasticidad de los gases y vapores remplaza a las corrientes de agua o de viento, con intervención del fuego: ésta es la primera aparición de las fuentes artificiales, reemplazantes con el tiempo de las fuentes naturales de energía motriz.

a) LAS TURBINAS

De un modo general podemos decir que el siglo XIX fue el siglo del vapor¹²⁹. Sin embargo los progresos decisivos en el arte de utilizar la energía hidráulica marcaron los comienzos de este siglo.

Las turbinas hidráulicas.

La revolución industrial del siglo XIX, al crear nuevas necesidades de fuerza motriz, hizo más evidente la imperfección de las viejas ruedas hidráulicas que habían progresado muy poco en el período comprendido entre la Edad Media y fines del siglo XVIII. Los esfuerzos que siglo tras siglo fueron realizados para mejorar el

¹²⁹ Las aplicaciones del Vapor, y especialmente su aplicación a los transportes, cuya velocidad máxima en tierra fue por millares de años inferior a los 20 Km. por hora, transformaron completamente el aspecto general de la civilización en el siglo XIX. En los primeros años del siglo XIX contemplamos la epopeya de la locomotora, nacida (como las bombas de fuego) por las necesidades de la industria minera (exigencias del transporte económico de los productos de extracción). Georges Stephenson, obrero e hijo de obreros, comprendió el alcance del invento de Trevithick y de los experimentos de Hendley sobre la locomoción de vapor y el desplazamiento sobre rieles (1813). Creó, en 1829, la primera locomotora moderna práctica, la famosa Rocket y la primera línea Liverpool-Manchester, que dio origen, primero en Inglaterra, luego en Bélgica, Francia (sobre todo después de 1837) y más tarde en todo el continente, a los modernos ferrocarriles. A pesar del escepticismo inicial de los sabios y de los hombres de Estado, las vías férreas adquirieron extraordinario desarrollo y durante mucho tiempo compitieron con la locomoción en las rutas.

Fulton, creador del primer servicio regular de barcos de vapor (1807), comenzó a explotar comercialmente la navegación de vapor, concebida ya en los trabajos de Denis Papin y realizada por el marqués Jouffroy d'Abans en 1776, en el Doubs. Los barcos de vapor al principio eran propulsados por ruedas de álabes laterales; luego fueron provistos de hélices. En este invento, con el que se relacionan los nombres de Sauvage y Dallery, se unen la mecánica más moderna y una idea técnica muy antigua que se utilizaba principalmente en el molino de viento. En efecto, el agua que circula permanentemente y los pasos curvos entre los cuales el agua está obligada a correr.

funcionamiento de la rueda hidráulica, permitieron crear, en el siglo XIX, la turbina hidráulica, de rendimiento muy superior al de las antiguas ruedas.

La turbina es una especie de rueda hidráulica con eje vertical, cuya novedad consiste en emplear de modo continuo el movimiento relativo del agua, en relación con los cubos y flotadores del aparato, en lugar de utilizar únicamente el peso del agua que cae sobre esas piezas. Para obtener este resultado es menester que el agua pase a través de conductos o sobre aletas curvas; el aparato utiliza las reacciones observadas entre el movimiento de la hélice se puede comparar de modo superficial con el movimiento de un tornillo que, por efecto de su rotación, penetra en un medio líquido o fluido, es decir, con el movimiento inverso al de las alas de un molino fijo. Éstas comienzan a girar impulsadas por el viento, fluido aéreo animado de un movimiento de traslación perpendicular al plano de las alas.

Mientras se usaba el vapor en esta forma eficaz de propulsión, eran perfeccionados científicamente los procedimientos de construcción de navíos, organismos de seguridad, instrumentos y métodos de navegación. Todos estos progresos a los que hay que agregar la intervención de la turbina, el uso de las conexiones eléctricas, la aplicación del telégrafo y la determinación de la posición en el mar contribuyeron a solucionar casi automáticamente los arduos problemas de la navegación que planteaba el siglo anterior.

Estas aplicaciones del vapor tuvieron una importancia considerable en la economía industrial en general y en el desarrollo de los intercambios y sólo ahora sufren la competencia de la locomoción en las rutas, la tracción eléctrica de los ferrocarriles y el avión.

Un dibujo de Leonardo de Vinci muestra una transición significativa entre las viejas ruedas hidráulicas y la moderna "turbina". Jacques Besson (1568) describió, con el nombre de rueda pozo¹³⁰, un tipo que se asemeja más a nuestros modernos aparatos.

¹³⁰ Se coloca un rotor de forma cónica en un pozo de material. El agua entra por la parte superior, tangencialmente a las aletas fijas en el cono. Actúa a un tiempo por su impulso y por su peso. Las pérdidas reducen sin embargo el valor de este aparato



FIG. 23. Rueda cuba o rueda pozo de Jacques Besson, hacia 1568 (USHER).

A principios del siglo XVIII se efectuaron mejoras prácticas y se realizaron estudios teóricos sobre el ajuste de las distintas partes de esta rueda hidráulica.

Estos aparatos, cada vez más perfeccionados, preparaban la aparición de la turbina hidráulica. Sin embargo, ésta no hubiera podido realizarse sin una serie de importantes trabajos puramente científicos, realizados durante el siglo XVIII, que hicieron conocer mejor las leyes hidráulicas¹³¹. En 1832 el ingeniero francés Benoit Fourneyron que trabajaba en Besançon, inspirado en las enseñanzas de su antiguo profesor, el ingeniero Burdin, y con la ayuda del capataz forjador de Fraisans (Doubs), concibió y realizó la primera turbina hidráulica verdaderamente eficaz¹³². Desde el principio el rendimiento de esta máquina alcanzó el 70 %. Poncelet dice con justa razón que Fourneyron tiene el derecho de figurar junto con Watt.

¹³¹ A principios del siglo XVIII Christophe Polhem, director de una fábrica de herramientas en Stralsund, ingeniero y técnico notable, iniciador lejano de la construcción por piezas intercambiables y de la fabricación en serie, realizó experiencias para determinar la eficacia de la rueda hidráulica. Además muchos matemáticos se interesaron en los problemas hidráulicos referentes a la turbina. Entre ellos podemos citar a Euler a quien llamó poderosamente la atención la rueda hidráulica propuesta por Segner de Göttingue (1750) y escribió una Teoría de las máquinas que funcionan por reacción del agua. En 1824 el ingeniero francés Burdin (director de la Escuela de Minas de Saint-Étienne) publicó una memoria sobre la turbina hidráulica (él emplea ese nombre) que había estudiado teóricamente en la Escuela de Minas de Saint-Étienne. Estas enseñanzas suministraron las ideas directivas a Fourneyron.

¹³² La turbina de Fourneyron está compuesta de dos coronas concéntricas, una fija y la otra móvil. "La corona fija, colocada en el interior tiene paletas directrices de corriente; la corona móvil está colocada en el exterior y lleva las paletas motrices." El fluido tiene un movimiento radial (es decir que forma un ángulo recto con el eje de revolución de la turbina) y centrífugo (es decir que se aleja del eje). De ahí deriva el nombre de turbina radial y centrífuga.

Las turbinas hidráulicas¹³³, al principio simples competidoras de las ruedas hidráulicas ordinarias, demostraron muy pronto que eran capaces de utilizar totalmente fuentes de energía hidráulica todavía inexploradas o mal explotadas. Estas máquinas adquirieron una importancia decisiva cuando, gracias a la dinamo, al alternador y a las transmisiones de energía a larga distancia, se transformaron en los aparatos más económicos para producir electricidad mediante la energía hidráulica¹³⁴.

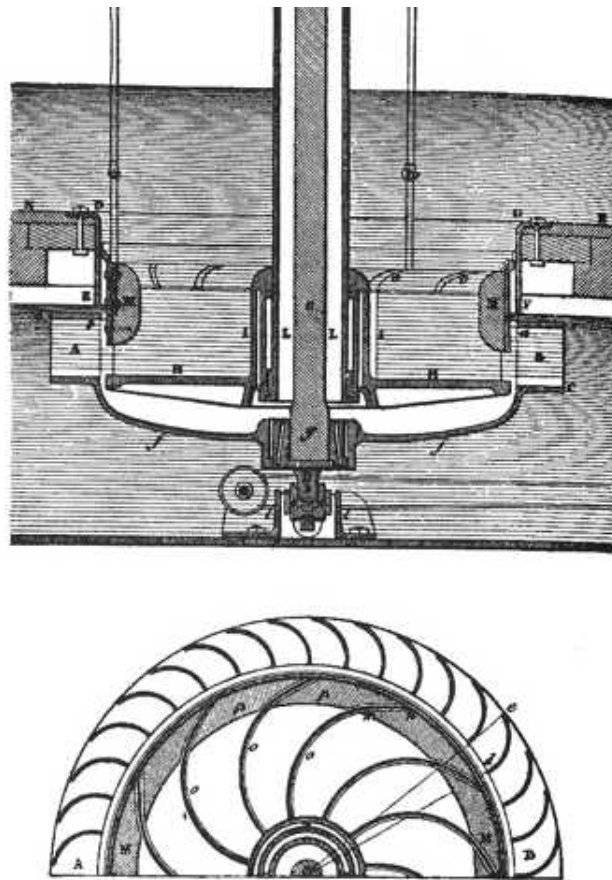


Figura 24. Turbina Fourneyron de 1832 (USHER)

¹³³ El industrial francés Fontaine inventó en 1836 otro tipo de turbina en la que el agua no se aleja del eje de rotación de la máquina. Es la turbina axial. Las dos coronas tienen igual diámetro y están colocadas según el mismo cilindro (la corona de paletas directrices está encima, y la móvil debajo, si el eje es vertical) crearon ciertas variantes de este tipo de turbina. Alrededor de 1850 el norteamericano Francis creó la turbina radial centrípeta, con la corona fija en el exterior y móvil en el interior; así se obtuvo un rendimiento mayor. Luego aparecieron tipos mixtos.

En 1870 el americano Pelton creó una turbina especial llamada "rueda Pelton" notable por su sencillez, su ligereza y su rendimiento superior al 80 %.

¹³⁴ Con el desarrollo de la energía hidroeléctrica en reemplazo de la energía térmica, a veces muy costosa o imposible de suministrar, las industrias que consumen mucha fuerza motriz pudieron desarrollarse también en las regiones desprovistas de recursos minerales. Vemos así la enorme importancia económica de la energía hidroeléctrica.

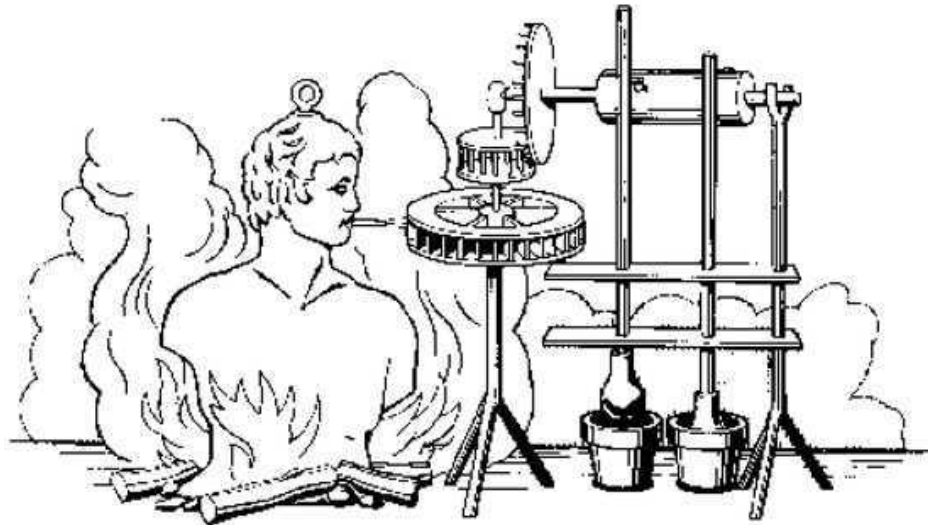
Turbina de vapor.

El principio de la turbina es muy general: es válido para todo fluido (Vapor, gas) que pasa a través de las paletas curvas de una o varias ruedas montadas sobre un árbol vertical u horizontal. En algunos casos el efecto motor proviene sólo de la velocidad del fluido (turbina de acción o de impulsión). En Otros casos el aparato utiliza no solamente la velocidad sino también la variación de presión en el recorrido de las paletas (turbinas de reacción). En todos los casos el fluido actúa ininterrumpidamente siempre en el mismo sentido. Precisamente la originalidad de este tipo de motor y su superioridad provienen de esta continuidad de acción que disminuye los choques y molinos.

La idea de una turbina de vapor, es decir de una máquina que funcione directamente por acción de ese fluido, sin necesidad de émbolo, sin obligación de transformar el movimiento rectilíneo alternativo en movimiento de rotación, sedujo a muchos inventores.

Para ser exactos debemos decir que esta idea es, en realidad, muy anterior a la máquina de vapor puesto que está realizada en la esfera de vapor de Herón y en la turbina de vapor de Branca.

Sin embargo de estos esbozos no podía surgir un motor industrial que, por otra parte, no era necesario en aquella época y que exigía además un gran perfeccionamiento en el trabajo del metal y en la fabricación de las máquinas.



*Figura 25. Turbina de impulsión de Branca que mueve dos mazos 1629
(según USHER)*

Por esta razón, a pesar de todas las tentativas realizadas no se logró una realización práctica hasta fines del siglo XIX. Hacia 1870 casi todos los técnicos creían que se debía de renunciar al empleo del vapor en las turbinas. Unos diez años más tarde de Laval (sueco) y Parsons (inglés) creadores de dos tipos diferentes de turbina de vapor, aportaron simultáneamente la solución de ese problema considerado insoluble.

El invento de Laval, que prolonga directamente la rueda de vapor de impulsión de Branca es, en principio, muy sencillo. Consiste en una rueda provista de álabes curvos. Esta rueda se pone en funcionamiento por impulsos y reacciones combinados de una corriente de vapor dirigida sobre las paletas por una o varias toberas laterales. Un elemento decisivo en este invento fue reconocer la importancia de estas toberas en la expansión del vapor y determinar su forma. La particularidad en la construcción de esta máquina consiste en que todos los espacios entre los álabes tiene el mismo ancho en toda su longitud de modo que no se modifique la presión del Vapor en todo el recorrido. El vapor, al presionar sobre la curvatura de los álabes (que es un arco de circunferencia) hace girar rápidamente el disco que los soporta. Como el vapor conserva la misma presión durante su paso a través de los álabes móviles y actúa sólo por su velocidad, esta turbina se llama turbina de acción o "de igual presión".

Por el contrario, la turbina Parsons llamada de reacción o de distinta presión, porque el vapor pierde presión a su paso por las paletas que son unas¹³⁵ fijas (paletas directrices) y otras móviles (paletas motrices).

Estos dos tipos de turbinas, que sufrieron muchas modificaciones (y a las que hay que agregar, después de 1900, la turbina concebida por el inventor francés Rateau) abrieron el camino a usos netamente diferenciados. Gracias a la gran velocidad de rotación de la turbina de de Laval, era posible utilizar turbinas de diámetro muy reducido, pero en cambio fue necesario limitar la potencia que hace unos veinte años no excedía de 300 CV por unidad.

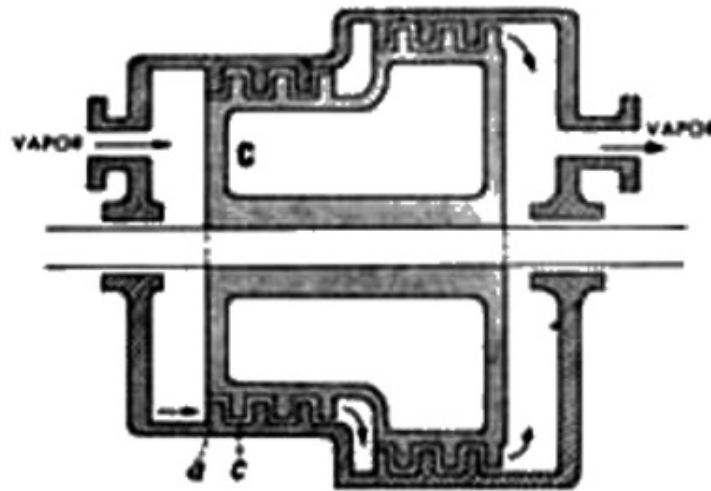


FIG. 26. Turbina de Parsons, esquema general (VIERENDEEL).

La turbina Parsons, por el contrario, fue desde sus comienzos una potente máquina industrial. Con ella se podía alcanzar y superar una potencia de 10.000 CV. Con los perfeccionamientos contemporáneos se atenuó esta oposición y se difundió el uso de la turbina que dispone de una gama de potencia muy extensa. La turbina en muchos casos reemplazó las máquinas alternativas de vapor, en particular respecto

¹³⁵ La turbina Parsons se compone de dos cilindros concéntricos, uno fijo el otro móvil c. El cilindro fijo tiene las paletas directrices. El cilindro móvil tiene las paletas motrices. Las paletas motrices y las directrices están alternadas unas con otras. El Vapor que Viene de la caldera circular entre las paletas de los dos cilindros y se escapa por D (al condensador o al aire libre).

de la navegación¹³⁶, de la generación de electricidad, y del accionar de todas las máquinas rotativas en general (bombas centrífugas, ventiladores, compresores de aire, etc.). La turbina tiene a veces una ventaja decisiva por la rapidez del movimiento de rotación y su pureza y por la reducción de las vibraciones. El límite de su potencia es aún desconocido mientras que la máquina alternativa parece haber alcanzado ya su potencia tope. Respecto de la economía de combustible, la turbina, en comparación con la máquina alternativa, representa un progreso similar al de ésta cuando remplazó a la máquina atmosférica de Newcomen. Con la turbina, invento de importancia capital, sólo pueden competir las máquinas alternativas que consumen gas pobre y gas de los altos hornos, o el motor Diesel, de combustión interna, gran invento contemporáneo surgido en la serie de motores con hogar interior¹³⁷ luego del motor de explosión.

b) EL MOTOR DE EXPLOSIÓN

Muchos investigadores soñaron con el motor de explosión antes de su verdadero nacimiento ocurrido en 1860. Sabemos que ya en el siglo XVIII se habían realizado experiencias para utilizar, como fuente de energía mecánica, la explosión de pólvora en un cilindro. Pero como no se llegó al perfeccionamiento técnico necesario, el vapor comenzó la conquista de la energía industrial.

Esta idea es retomada por Robert Street (1794) y por Lebon (1799), quienes, a fines del siglo XVII, obtienen, respectivamente, las patentes inglesa y francesa, que marcan el comienzo de una larga serie de esfuerzos orientados hacia la creación del nuevo motor. Estos esfuerzos no alcanzaron el éxito hasta 1860. En efecto, en esta época el ingeniero francés Lenoir (nacido en Bélgica) concibió la primera síntesis satisfactoria de los elementos del problema y logró construir un motor realmente eficaz (para potencias no superiores a 3 CV).

¹³⁶ Para el comando de las hélices de los barcos, el uso de la turbina se asocia, cada vez con mayor frecuencia, al uso de la electricidad como intermediario que permite una unión más flexible entre la fuente de energía motriz y el órgano de propulsión.

¹³⁷ La idea de la máquina con hogar interior, que se remonta a los primeros estudios referentes al uso del émbolo, es sumamente importante porque, al localizar el hogar en el cilindro, es posible utilizar toda la energía térmica. Por el contrario, a máquina con hogar exterior (como la máquina de vapor) origina necesariamente pérdidas en la transmisión de la energía térmica.

Lenoir tuvo la audacia de emplear, como fuente de energía motriz, la explosión de una mezcla de aire y de gas de alumbrado¹³⁸, que desplazaba el émbolo de un cilindro. Con este procedimiento se podía utilizar reservas de energía fáciles de transportar, sobre todo cuando Lenoir remplazó, en 1862, el gas de alumbrado por petróleo. Pero la potencia que se obtenía con gran consumo de gas o petróleo era reducida. El motor de automóvil sólo pudo desarrollarse gracias a un perfeccionamiento suplementario: la compresión, concebida casi al mismo tiempo por Schmidt y Beau de Rochas. Este último, para comprimir (por medio del émbolo en el cilindro) la mezcla detonante antes de provocar la explosión que engendra la fuerza motriz, imaginó para todas las operaciones que se realizan en el cilindro, un ciclo determinado por Cuatro golpes de émbolo. Este perfeccionamiento notable dio origen a nuestro motor de cuatro tiempos a saber: aspiración de la mezcla detonante, compresión, explosión y evacuación de los gases quemados. La miseria impidió a Beau de Rochas aprovechar su invento. En el extranjero y especialmente Otto en Alemania aplicaron las ideas de Beau de Rochas.

Desde que se empezó a usar la nafta¹³⁹ como carburante, el motor de explosión alcanzó gran auge y su funcionamiento mejoró de modo constante. Así fue posible aumentar considerablemente la potencia nominal de los motores y reforzar su calidad fundamental, es decir, la de desarrollar, con una máquina de escaso volumen y con un consumo reducido de combustible, mayor potencia útil que la que produce una máquina de vapor del mismo tamaño. De esta propiedad nació y progresó mucho la locomoción en las rutas¹⁴⁰, se inició la aviación y fue posible dirigir los aeróstatos.

El dirigible.

Organizadas las primeras ascensiones en un globo esférico¹⁴¹ se planteó la cuestión del dirigible. A pesar de todas las tentativas realizadas, a veces muy ingeniosas, el problema no tuvo solución práctica hasta que el motor de explosión se agregó a los

¹³⁸ Reguló cuidadosamente la llegada de aire y de gas para crear en el cilindro una estratificación conveniente de las capas delgadas sucesivas de aire y de gas con el fin de obtener que el funcionamiento de la máquina fuera suave.

¹³⁹ Se puede utilizar muchos otros combustibles (benzol, alcohol, alcohol carburado al benzol, gases de los altos hornos y de los hornos de coque, gas inferior de los asógenos).

¹⁴⁰ Lenoir (1863); Sígfried Marcus (¿1878?); Daimler (1883); Panlsard (1889).

¹⁴¹ Éste sólo puede dirigirse mediante el empleo inteligente de las corrientes de aire en las diferentes altitudes y la regulación de la altura del globo con el lastre y la válvula de escape.

dos ensayos realizados por Giffard en 1892 y Dupuy de Lome en 1872 (pero con motores insuficientes) es decir: la forma elipsoide del dirigible y la propulsión por hélice con lo que era posible imprimir (con Viento suave) una dirección al recorrido de la aeronave. Fue muy difícil habilitar ese aparato. Y esto, que habría sido preparado por los esfuerzos de los hermanos Tusandier (1883—1884 con motor eléctrico) de Renard y Krebs (1884 a 1888 con motor eléctrico) de Woelfert en 1897 con motor de auto, fue logrado realmente por el brasileño Santos Dumont entre 1898 y 1901.

Hay que señalar sin embargo que el dirigible, flexible, rígido o semirrígido¹⁴² a pesar de todos sus perfeccionamientos, es siempre un instrumento de transporte menos práctico, menos seguro y mucho más vulnerable (tanto a los cambios atmosféricos como a los ataques y proyectiles) que una aeronave "más pesada que el aire".

El avión.

El avión, concebido en un principio muy distinto, ha demostrado que puede progresar con más rapidez. Es un medio de transporte cuya potencia, "ductibilidad" y eficacia son indiscutibles. El origen de la aviación, considerado desde las más lejanas fuentes, se remonta a los primeros sueños del hombre. La leyenda de ICARO¹⁴³ es sólo una de las innumerables manifestaciones del deseo del hombre de todas las épocas de escapar de la tierra, de planear libremente, de contemplar desde el espacio la humildad de la habitación humana.

El historiador de las técnicas se ve agobiado por la abrumadora masa de testimonios escritos u orales, relativos a la prehistoria de la aviación. En todas las épocas hubo, y hay aún en nuestros tiempos, hombres que quieren imitar a los pájaros adaptando alas artificiales a sus miembros. Esta tendencia profunda y esta audacia no son desdeñables: los pioneros de la verdadera aviación, la nuestra, las conocían. Pero para que esta llegara a concretarse, fue indispensable una observación minuciosa calcada sobre el severo método de los sabios y unida a la conquista de una potencia artificial superior a la potencia muscular: la fuerza que proporciona, con un Volumen y un peso relativamente débiles, el motor de

¹⁴² Según la ausencia o presencia (parcial o total) de un armazón metálico en el interior.

¹⁴³ Hijo de Dédalo que se lanzó a los aires provisto de alas sujetas con cera. Dice la leyenda que, por haberse acercado demasiado al sol, el calor fundió la cera, se le cayeron las alas y se precipitó en el mar.

explosión al actuar sobre una hélice. La sustentación resulta de los efectos combinados de este sistema de propulsión y de las reacciones¹⁴⁴ del aire sobre las alas fijas o solamente de las reacciones del aire sobre un velamen giratorio (helicóptero)¹⁴⁵.

c) EL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

El motor de explosión, en el que en un volumen reducido se concentra una gran potencia, nació como lo hemos visto de las tentativas efectuadas antiguamente para obtener la combustión interna, en oposición de las máquinas de vapor (incluida la turbina) que emplean la combustión externa de leña, carbón o aceite pesado. El ingeniero alemán Diesel profundizó y perfeccionó esta idea de combustión interna que ya en la época de Carnot había inspirado a los hermanos Niepce (patente del año 1807) para fabricar un motor de pólvora de lycopodio Diesel demostró que los aceites brutos vegetales o animales y los aceites pesados minerales que se queman en un motor de combustión interna tienen mayor rendimiento que la nafta. Gracias estos trabajos se pudo crear en 1895 el "motor Diesel motor en el cual la combustión no se efectúa de golpe —por chispa— sino que, por el contrario, se

¹⁴⁴ Hace mucho tiempo que ejemplos familiares como al paracaídas, la cometa (técnica primitiva transformada en juguete) y el vuelo de los pájaros marinos, suministraban ejemplos de esas reacciones.

¹⁴⁵ Nuestra moderna aviación, aún concebida en este aspecto limitativo, se remonta por lo menos a las primeras tentativas de Ader, es decir, a los primeros saltos de su "murciélago" de vapor, alrededor de 1890. Para tener en cuenta a todos sus precursores habría que remontarse mucho más allá, a la Edad Media, a la antigua Grecia y a la civilización china. En realidad ya en la época de Ader la combinación del motor de explosión y estudio paciente del vuelo de los pájaros, a partir de los trabajos del francés Ch. Mouillard (1881), abrió una nueva ruta al progreso de la aviación. El sabio alemán Lilienthal efectuó un estudio experimental en el sentido más científico del término, de las condiciones del vuelo planeado y del vuelo sin motor o, como decimos actualmente, del "vuelo de vela" inspirándose en el vuelo de los pájaros veleros y de los pájaros marinos. Lilienthal murió en 1889, mientras realizaba sus experiencias, después de haber hecho alrededor de dos mil vuelos. En esta fecha, poco antes del fracaso decisivo de Ader (1897), entra en juego del motor de explosión y, con él, los éxitos decisivos de Wilbur y Orville Wright, inventores y constructores originales que, después del americano Chanute, estudiaron las condiciones del vuelo y fabricaron un aparato muy estable y satisfactorio pero que para volar debía ser lanzado por una catapulta (1905). Los hermanos Wright, para preservar sus derechos tardaron demasiado en difundir sus métodos y corrieron así el riesgo de que alguien los aventajara. En efecto, en 1901, el brasileño Santos Dumont consiguió levantar vuelo y establecer los "records" aéreos mundiales de distancia y duración (220 m en 21" y a una altura de 4 a m del suelo).

Mientras Farman cumplía el primer circuito cerrado en Issy-les-Moulineaux, en enero de 1908, Wilbur Wright comprendió que sus competidores podían superarlo, realizó las primeras pruebas oficiales en su biplano (agosto-diciembre de 1908) y obtuvo la primera Copa Michelin (124 Km en 2 h 30'23"). El 25 de julio de 1909 Blériot, inventor original que trabajaba desde 1901, atravesó el canal de la Mancha en un avión construido por él. Esta fecha señala el fin de la primera infancia de nuestra aviación. Gracias a la evolución científica, a los progresos técnicos realizados durante la guerra de 1914 y a las necesidades comerciales, este aparato se transformó en el instrumento admirable y en el arma terrible que conocemos actualmente, que con el perfeccionamiento de los motores y el estudio profundo de las condiciones aerodinámicas se torna cada vez más eficaz. Otro aparato, volador con un sistema de planos giratorios, el helicóptero, ha realizado últimamente progresos decisivos. El avión cohete que no emplea como medio de propulsión la hélice sino el efecto de reacción de un chorro gaseoso (motor de reacción), tiende a remplazar al avión de hélices no sólo en el campo militar sino también en el transporte Civil.

produce progresivamente y está naturalmente amortiguada por el calor que origina la compresión de los gases¹⁴⁶.

Las consecuencias de este invento fueron muy importantes; se pudo utilizar como combustible los aceites pesados extraídos del alquitrán de hulla, que no se empleaban anteriormente y que con igual peso desarrollan más calorías que el carbón. Perfeccionado cada vez más liviano, pero conservando sus cualidades¹⁴⁷, el motor Diesel reemplazó poco a poco al motor de explosión en los camiones y también en los aviones. Aún antes de estos avances era ya el motor preferido por la navegación submarina.

Los submarinos.

Este invento, que representó en los siglos XIX y XX el retorno imprevisto a una vieja idea de la civilización china, es una verdadera obra de síntesis¹⁴⁸ de las técnicas modernas. La delicadeza de esas máquinas, la necesidad absoluta de disponer de una gran potencia en un espacio reducido, de evitar la concentración de gases deletéreos y de garantizar siempre la seguridad de maniobra requerida, todo contribuye a que el instrumental del submarino sea sumamente delicado. Como en todo navío moderno; aunque de modo quizás más sensible¹⁴⁹ las transmisiones eléctricas constituyen el verdadero sistema nervioso del conjunto. Por otra parte este hecho es sólo un caso particular de una ley general: podemos decir que la electricidad constituye, cada vez con más certeza, el vínculo indispensable de las técnicas modernas. Susceptible de ser transportada lejos por hilos y de ser utilizada en forma de trabajo, de calor o de luz, es el agente más útil de producción y de transformación de energía.

¹⁴⁶ Mientras Lenoir evitaba la compresión, peligrosa por la autoinflamación intempestiva en el motor de explosión, la idea revolucionaria de Diesel fue precisamente la de provocar el máximo de compresión y utilizar la autoinflamación sistemática: Su audacia lo llevó a crear el motor de combustión interna más perfecto desde el punto de vista térmico. Este éxito recuerda el de los creadores de la máquina de vapor de alta presión que Watt y sus colaboradores no realizaron por excesiva prudencia, o el transporte de electricidad de alta tensión, que la prudencia no le permitió concretar a Edison.

¹⁴⁷ A continuación damos algunos rendimientos térmicos comparados: Diesel (30 a 35 %); otros motores de combustión interna (25 a 30 %); máquinas de vapor potentes y perfeccionadas (20 %); Otras máquinas de vapor (5 a 10%).

¹⁴⁸ El principio —que consiste en sumergir un barco hermético— es muy sencillo y fue imaginado por muchos precursores (entre otros por Leonardo de Vinci). Sin embargo su realización, cuyo gran protagonista fue el ingeniero francés Laubeuf, se reveló mucho más difícil.

¹⁴⁹ Por causa de los acumuladores necesarios.

Podemos definir de manera absoluta la última era de nuestra técnica, derivada del siglo del vapor, como la edad de la electricidad, es decir la era en que por primera vez se creó y se desarrolló sistemáticamente el uso de esta forma de energía.

d) PRODUCCIÓN, TRANSPORTE Y UTILIZACIÓN DE LA ELECTRICIDAD.

Los orígenes.

Los antiguos, que desconocían completamente esta técnica, comprobaron sin embargo las propiedades electrostáticas del ámbar¹⁵⁰ al ser frotado, o sea, su aptitud para atraer plumas o cuerpos livianos. En la Edad Media estas propiedades eran conocidas y se estudió también las propiedades del imán. El médico inglés Gilbert en el siglo XVI estudió la electricidad, y Otto de Guericke construyó, entre 1640 y 1670, la primera máquina eléctrica. Esta máquina estaba formada por un globo de azufre montado sobre un eje de madera accionado por una manivela. La mano del experimentador apoyaba un frotador de paño contra el globo que en la oscuridad parecía luminoso.

Es menester aguardar el siglo XVII para que el conocimiento de la electricidad, gracias a la curiosidad de los aficionados de salón, ansiosos de presenciar experimentos raros tanto como la tenaz investigación de los físicos, llegue a generalizarse. Estas experiencias se limitan todavía a la producción (y a los efectos más "espectaculares") de la electricidad llamada "estática", es decir cargas obtenidas por frotamiento. A pesar de todos los perfeccionamientos realizados, la potencia de esas máquinas no bastaba —en esa época— para impulsar una explotación industrial. La única fuente poderosa¹⁵¹ de electricidad —la electricidad atmosférica, descubierta por Franklin y sus émulo; no había sido aún "domesticada" a pesar del notable invento del pararrayos que neutraliza sus efectos peligrosos¹⁵².

¹⁵⁰ En griego elektron de donde deriva nuestra palabra electricidad. La tradición relaciona con Tales el conocimiento de esta propiedad del ámbar, transmitido posiblemente por los egipcios.

¹⁵¹ Alrededor de 1740 se reemplazó el "puño frotador por una almohadilla aislada que comunicaba con un cilindro de hojalata también aislado. En este cilindro se acumulaba toda la electricidad producida por el frotador". Después de este perfeccionamiento esencial, que permitía la acumulación de electricidad, apareció en 176 la máquina de Ramsden (máquina con una bandeja vertical de vidrio con sectores metálicos de frotamiento, construida sobre una base de cobre aislado). Las máquinas de frotamiento producían electricidad de alta potencia pero en pequeña cantidad. Estas máquinas fueron reemplazadas por máquinas de influencia basadas en el mismo principio que se emplea actualmente para construir máquinas poderosas capaces de producir la potencia necesaria para la desintegración de la materia.

¹⁵² Esta "domesticación" del rayo se utiliza actualmente en aparatos potentes para desintegrar la materia.

Sin embargo estas orientaciones no podían desarrollar la producción industrial y la utilización de la energía eléctrica. Ambas fueron posibles cuando aparecieron los generadores de electricidad dinámica, que producían electricidad de escaso voltaje pero en mayor cantidad que los "juguetes científicos" empleados hasta ese momento. Resultado imprevisto de las investigaciones fisiológicas de Galvani, el primer generador descubierto fue la pila eléctrica de Volta, que nos parece ahora tan humilde y débil frente a las formidables usinas hidráulicas y las poderosas centrales que nos suministran luz y fuerza motriz. Empero los espíritus perspicaces adivinaron que este aparato sorprendente¹⁵³ era el anuncio de un nuevo porvenir para la ciencia y para la práctica industrial. Tal fue, entre otras, la opinión de Napoleón entonces Primer Cónsul; cuando Volta realizó en 1801, ante él y los miembros del Instituto de Francia, sus célebres experimentos.

El físico, el químico y naturalista, en sus laboratorios, podrían estudiar, con la pila eléctrica, las propiedades físicas y químicas de la corriente. A pesar de los ingeniosos perfeccionamientos realizados, y del método de acoplamiento de elementos empleado, el costo elevado de la corriente suministrada, la potencia limitada de la pila eléctrica y su corta duración efectiva impedían alcanzar la era de las realizaciones industriales. Por esta razón mientras sabios como Ampère, Faraday y Laplace realizaban experiencias y coordinaban matemáticamente las leyes de la corriente, las propiedades del magnetismo y la acción recíproca de las corrientes y de los imanes, los investigadores concentraban sus esfuerzos para descubrir aparatos generadores más potentes, ya por el perfeccionamiento de las pilas, ya por la aplicación de las leyes del electromagnetismo¹⁵⁴.

Los acumuladores.

De acuerdo con la primera orientación se llega a la invención de los acumuladores o pilas secundarias que, para asegurar la conservación y el caudal de la electricidad (con una constancia superior a la de la pila) se sirven de las mismas causas que después de cierto tiempo alteran el funcionamiento de las pilas ordinarias.

¹⁵³

¹⁵⁴

Después de la hermosa obra científica y técnica de Gaston Planté¹⁵⁵ los progresos realizados en esta vía fueron lentos pero decisivos. El acumulador es a menudo un intermediario indispensable para almacenar electricidad en períodos de exceso y restituirla en los casos opuestos. No obstante los perfeccionamientos aportados constantemente (y de la teoría y de la técnica de construcción) la potencia, regularidad, duración del acumulador y su peso material tiene límites muy estrictos¹⁵⁶. El acumulador es el auxiliar universal indispensable de los aparatos eléctricos industriales, pero no crea ni mantiene la vida de esos poderosos organismos.

La dínamo.

La industria eléctrica no habría surgido si la otra orientación de las investigaciones, es decir, la que utiliza los efectos recíprocos de las corrientes y los imanes, no hubiera inventado otro generador.

Por un fenómeno en extremo curioso, aunque repetido en la historia de las técnicas, este invento capital fue realizado por un simple obrero que trabajaba sin contacto con los sabios contemporáneos y aún en contra de sus ideas, el belga Zénobe—Théophile Gramme¹⁵⁷. Llevado por sus propias reflexiones (asistidas de una gran habilidad manual) ideó y construyó la primera máquina verdaderamente práctica para producir corriente eléctrica mediante la energía mecánica¹⁵⁸.

De modo opuesto por acción de una corriente continua, de intensidad y tensión convenientemente elegidas¹⁵⁹ la misma máquina puede suministrar trabajo mecánico. La industria dispuso así del instrumento necesario para producir y utilizar la energía eléctrica. El estudio de las condiciones de transmisión de la corriente continua por medio de hilos, la producción, transmisión y explotación sistemática de

¹⁵⁵ El método de Planté ((acumulador de plomo y ácido sulfúrico) fue notablemente perfeccionado por Faure en 1880 que usó plomo recubierto con óxido de plomo.

¹⁵⁶ Dificultades que imponen, entre otras cosas, que se generalice el uso del acumulador en los transportes, y que limitan el empleo de la locomoción eléctrica en las rutas.

¹⁵⁷ Entre los precursores de Gramme debemos citar a Wheatstone (1845) que reemplazó los imanes naturales de las máquinas generadoras de corriente por imanes electromagnéticos y al presbítero Pacinotti, de Pisa, cuyas tentativas fueron desconocidas por Gramme. La obra de Gramme, que consiste en una "revisión crítica" de la máquina generadora de electricidad (Usher), es también un invento completamente original de medios técnicos fundamentales.

¹⁵⁸ La superioridad de la "dínamo" de Gramme reside esencialmente en el dispositivo de "arrollamiento" y de conexión que permite obtener el efecto más intenso de la acción recíproca de las corrientes y de los imanes. La invención del inductor anular de Gramme data de 1869.

¹⁵⁹ En la Exposición de Viena, en 1873, se descubrió de modo casual que la dínamo de Gramme era en realidad una máquina reversible que podía emplearse como motor.

corriente alternada¹⁶⁰ completaron este germen esencial de la industria eléctrica, e incorporaron a la máquina, cada vez más íntimamente, en la trama de nuestra civilización industrial.

La hulla blanca.

Entre las innumerables combinaciones posibles con esta forma de energía gracias a su flexibilidad, la "asociación de la turbina hidráulica con el alternador constituye un binomio de la mayor importancia". En efecto, la explotación de la energía mecánica de las caídas de agua, que se obtiene con esta combinación, es mucho más variada que la resultante de la utilización mecánica de la rueda o la turbina. La hulla blanca", cuya importancia aumenta sin cesar, se transforma así en uno de los elementos esenciales de la técnica moderna: gracias a ella la electroquímica, la electrometalurgia, la iluminación y la fuerza motriz diseminadas en los campos transforman poco a poco las bases técnicas de la civilización y el aspecto de la tierra¹⁶¹.

¹⁶⁰ La dinamo produce corriente continua. Las primeras máquinas industriales electromagnéticas, así como el alternador (que las reemplazó y que fue inventado por Granville, en 1877), producen una corriente llamada "alternada" que resulta de la formación simultánea, en las bobinas generadoras, de dos corrientes de sentido inverso. Esta corriente alternada puede ser "regenerada", es decir transformada en corriente continua o utilizada tal cual para ciertos usos. En esto estriba precisamente la importancia de la corriente alternada que puede almacenarse fácilmente en la máquina, producirse y transformarse a muy alta tensión y puede luego distribuirse y emplearse a baja tensión. El transporte de corriente a larga distancia es económico solamente si se realiza a alta tensión. Por contrario, para la distribución a los usuarios y su empleo, se requiere tensiones moderadas. Estas condiciones, en apariencia contradictorias, se obtienen admirablemente en la corriente alternada por medio de los transformadores llamados estáticos (pues existen también transformadores rotatorios para la corriente Continua). Los transformadores estáticos para Corriente alternada, formados por simples bobinas superpuestas, son una ilustración moderna de la antigua bobina de inducción de Faraday. Con ellos se puede elevar o disminuir la tensión en la relación deseada. El transporte a gran distancia se efectúa a tensiones de 50000 o más voltios y a la llegada la tensión se disminuye en algunos centenares de voltios, sin órgano móvil, por lo tanto en condiciones de perfecta aislación y seguridad y con una pérdida muy reducida. A Marcel Deprez (1851) se debe la idea de emplear sistemáticamente estos transformadores y la primera aplicación francesa se remonta al año 1885.

La corriente alternada que se usa directamente para iluminación puede emplearse también directamente como fuente de fuerza motriz, gracias a la reversibilidad del alternador que puede funcionar como motor si se le suministra corriente (propiedad análoga a la de la dinamo de Gramme). En esta propiedad se basa el motor llamado sincrónico. Otra manera más práctica de utilizar la corriente alternada como fuente de fuerza motriz es emplearla para hacer funcionar un motor asincrónico, tipo de motor descubierto por Ferraris en 1887.

¹⁶¹ En la historia de las técnicas la extensión de la producción, transporte y utilización de la electricidad está íntimamente ligada al progreso industrial de la iluminación eléctrica, inseparable del nombre de Edison. En efecto, la iluminación eléctrica planteaba no sólo el problema técnico de la lámpara incandescente con filamento (cuya solución buscaron muchos investigadores y encontró Edison en 1879) sino también todo tipo de problemas de transmisión, distribución y utilización (especialmente los que se refieren a la necesidad de una independencia relativa de los circuitos de los usuarios, a pesar de la solidaridad en la distribución de la energía). Con el esfuerzo realizado en este sentido las redes de distribución de fuerza comenzaron la conquista del espacio, y el uso de la electricidad se impuso en las técnicas industriales. El progreso de esta técnica evoluciona hacia la racionalización de las redes y la coordinación cada vez más estrecha entre los centros de producción. Algunas redes unificadas cubren a veces grandes extensiones, lo que permite así equilibrar más económicamente la producción y el uso de energía.

La función civilizadora de la electricidad, concebida como intermediario universal de la actividad humana, se hace evidente en los resultados obtenidos en todo lo que se vincula con las relaciones y transmisiones a larga distancia.

Las transmisiones.

Nuestros antepasados lucharon siempre contra el aislamiento y la ausencia y contra la reducción o la supresión de límites de espacio y tiempo entre los pensamientos y voluntades de los seres humanos. Ya en la antigüedad los guerreros transmitían preciosos informes por medio de ingeniosos procedimientos de telegrafía óptica¹⁶² (agregados uso de signos convencionales y criptogramas). Chappe perfeccionó admirablemente este procedimiento y su telégrafo permitió obtener, en la época de la Revolución, una celeridad y precisión notables¹⁶³. Este progreso fue eclipsado por el telégrafo eléctrico, inventado y perfeccionado por Morse y sus émulo¹⁶⁴ en distintas formas pero según una técnica común (transmisión por hilo y acción de la corriente sobre electroimanes).

El telégrafo es el antepasado de una serie de instrumentos maravillosos que hoy todo el mundo conoce: el teléfono, la radio, la televisión con los cuales es posible alcanzar cada vez más perfectamente la comunidad de pensamientos, sentimientos y acciones entre dos seres humanos, a pesar de los límites, al parecer infranqueables, de espacio y tiempo, que aprisionan nuestro cuerpo. La técnica entra en el dominio misterioso de los sentimientos. Es evidente que ausencia y distancia mitigan los sentimientos y que, por el contrario, se agudizan por el cultivo más intenso y voluntario de su expresión íntima. El correo ya había logrado mantener perenne una presencia a pesar de la separación. El teléfono nos da la presencia misma. La electricidad liberó nuestra sensibilidad de una traba milenaria: realiza todos los días, hasta para los más humildes de los hombres el milagro antes reservado a los poetas, a los inspirados y a los visionarios.

Sin embargo el hombre utiliza a menudo este prodigio en cosas fútiles. Transforma al mensajero inimitable en solicitante indiscreto porque la delicadeza de nuestras

¹⁶² En 1832 Morse inventó su telégrafo que comenzó a explotarse alrededor de 1842 y en Francia en 1854. Hughes inventó en 1855 el telégrafo impresor, que Gustave Froment perfeccionó en Francia.

¹⁶³ Ahora, y desde el punto de vista técnico, bastante avanzada para permitir la explotación industrial si las circunstancias económicas fueran favorables.

¹⁶⁴ Entre otros métodos, el de la evaporación de agua en los países cálidos

costumbres no marcha a la par de los progresos de nuestra potencia material. Parecemos esclavos liberados demasiado pronto que aportan a su nueva condición todos los vicios de una larga servidumbre.

Capítulo 22

Nuevas fuentes de energía

El contraste entre lo poco que nos conforma y lo mucho que podemos realizar es tanto más evidente cuanto más variados son los instrumentos de nuestra potencia. A medida que se perfeccionaban los procedimientos industriales se aceleraba la conquista de las fuentes de energía. A la máquina de vapor, es decir a la hulla; al motor de explosión, es decir a los combustibles líquidos, se agrega en el siglo XX la hulla blanca, o sea la electricidad obtenida de la fuerza motriz de las caídas de agua. Comienza la explotación racional de los vientos (hulla azul), de las mareas (hulla verde), de las radiaciones solares¹⁶⁵, de las diferencias de temperatura en el seno de los océanos (procedimiento de Georges Claude). Algunos de estos procedimientos no constituyen más que curiosidades experimentales, pero sabemos con qué asombrosa rapidez una técnica recién salida del laboratorio invade la práctica y da origen a nuevas fábricas.

Por esta razón actualmente los espíritus avisados¹⁶⁶ siguen con suma curiosidad los estudios que realizan los físicos sobre los últimos componentes de la materia. La desintegración de ciertos cuerpos, que al principio se consideró como fenómeno espontáneo y que se provocó luego con afán experimental, nos hace adivinar, en las entrañas de la materia, una fabulosa reserva de energía. ¿Está el hombre en vísperas de "apoderarse" de una fuente inagotable de energía utilizable en volumen

¹⁶⁵ Escrito antes de la explosión de la bomba atómica en Hiroshima (1945). La era atómica se remonta hasta el año 1942, fecha de las primeras realizaciones en Estados Unidos. Cuando apareció la tercera edición francesa de esta obra (1955) la energía atómica, explotada al principio con propósitos bélicos (Bombas A y H, artillería atómica), científicos y médicos (isótopos) estaba en vísperas de ser explotada industrialmente para fines puramente económicos.

¹⁶⁶ La técnica de la "manufactura en partes intercambiables" bosquejada desde el siglo XVIII y aún desde el Renacimiento, es decir mucho antes de que se inventara la máquina de coser o la máquina cosechadora, se desarrolló sólo en el siglo XIX. A fines del siglo XIX y en el siglo XX el grupo de máquinas herramientas se hizo poco a poco "automático". A partir de ese momento se construyeron máquinas, muy especializadas, destinadas a todas las ramas de la actividad manufacturera; de esta forma el hombre transfirió su habilidad técnica a la máquina. Actualmente el progreso técnico se orienta del semiautomatismo al automatismo verdadero. Esta evolución está ligada al desarrollo científico, especialmente gracias a la electrónica y a una serie de investigaciones nuevas agrupadas con el nombre de Cibernética.

tan reducido que nuestra liberación material sea absoluta? O, lo que sería trágico ¿Comienza el último experimento de la especie? ¿Acaso la humanidad corre el riesgo de desaparecer por la imprudencia de sus investigaciones científicas o por la barbarie de sus aplicaciones? No es necesario interpretar la técnica para formularse estas preguntas. Basta describir el movimiento irresistible que lleva al hombre a transformarse en esclavo de sus propias conquistas: todas las extensiones racionales de la técnica nos ofrecen este espectáculo.

Capítulo 23

Extensiones racionales de la técnica

La mano, primer instrumento de la técnica humana, es la madre de nuestras herramientas. Las artes nacieron con los primeros inventos instrumentales de nuestros padres. La máquina es la prolongación de la herramienta que es, a su vez, prolongación de la mano. La técnica en general realizó un salto prodigioso cuando el hombre captó nuevas fuentes de energía, es decir, cuando en lugar de su fuerza muscular para mover los instrumentos, utilizó la mano como control de las fuerzas inanimadas aplicadas a desencadenar la potencia y orientar la acción. Estos progresos, al hacer innecesaria la potencia muscular, elevaron el técnico al nivel de conductor de fuerzas pero hicieron que multitud de brazos, antes consagrados a trabajar la naturaleza, resultaran inútiles. Esto originó graves crisis en el ritmo del trabajo y conmovió toda la economía de nuestra civilización. Además la inteligencia orientada en esta vía ya no puede detenerse¹⁶⁷.

1) Las técnicas primitivas o fundamentales, que resumen relaciones entre el hombre y el ambiente. Estas técnicas se encuentran en diferentes lugares, se

¹⁶⁷ El obrero ya no representa el papel de director sino de observador y "cuidador" de una máquina más inteligente que él. La producción de objetos se acelera pero simultáneamente disminuye el número de hombres necesarios y el valor de su trabajo. Aún debemos llegar más lejos. Llegará el día en que la mano del hombre y su inteligencia implícita ya no serán necesarias. Una y otra fueron durante mucho tiempo indispensable para construir esas máquinas que terminarán por privar al hombre del placer y del beneficio de la creación. Con la "máquina para fabricar máquinas" la mano y la inteligencia del hombre serán casi inútiles. Este tipo de invento terminará por llevar a una escala monstruosa, en relación con el orden humano y el orden Vital, la autonomía de lo mecánico. No solamente la técnica engendrará la técnica sino que también la máquina se creará y se destruirá a sí misma. El hombre de carne casi no tendrá cabida en este Circuito, en esta vida supra humana de organismos robot que se multiplicarán y crecerán continuamente, como una monstruosa especie nueva hecha de metal o de materias inéditas y de energías desconocidas. Sin duda el espíritu del hombre será todavía centro y origen de esas nuevas y complejas creaciones, pero al hombre le resulta cada vez más difícil coordinar su conjunto y orientarlo hacia fines armónicos.

repiten en distintas épocas y son aún visibles, a veces, a nuestro alrededor. Su número es limitado. Algunas nos permiten establecer leyes de filiación lógica o hechos de transmisión. De todos modos, con el conjunto de estas técnicas podemos analizar las relaciones básicas entre el hombre y el hecho técnico. Confiase en valorar, aquí, la idea esencial de que las técnicas "se componen" (como los movimientos); con el estudio de esta composición se podrá aclarar la definición, clasificación e historia de las técnicas en general, aún de aquellas que incluimos en la categoría siguiente.

2) Las técnicas derivadas de la ciencia aplicada que caracterizan la civilización moderna. Después de la intervención del pensamiento científico, de acuerdo con la aparición de diversos factores económicos y sociales y la manifestación de diversas tendencias filosóficas y políticas, morales y religiosas, el crecimiento acelerado de las técnicas, su diversificación y su nueva eficaces nos ponen frente a una realidad que quizás ya nada tiene en común con la de los siglos transcurridos entre el fin de la prehistoria y la segunda mitad del siglo XVIII. El auge de esas técnicas modernas deriva de principios antiguos, muchos de los cuales fueron creados por el genio científico y filosófico de Grecia. Sin embargo, la civilización griega, como toda la antigüedad y la Edad Media, sólo conocieron técnicas que estaban al nivel del hombre. La desproporción espantosa entre nuestra técnica (obra evolutiva de una ciencia consagrada a lo universal) y las necesidades fijas, limitadas de nuestro cuerpo (que traduce la Orientación adquirida de nuestros sentimientos esenciales, y toda la inercia de nuestro psiquismo) nos deja desadaptados y aún, en apariencia, incapaces de retomar la iniciativa frente a este segundo aspecto del hecho técnico. En efecto, la unión de las fuerzas inanimadas y del instrumento; de la máquina y la herramienta¹⁶⁸ puede y debe ser perfecta, automática, irresistible¹⁶⁹.

El maquinismo.

El desarrollo ininterrumpido del maquinismo invade toda nuestra civilización. Ha transformado no sólo la metalurgia y sus derivados, la arquitectura y todas sus

¹⁶⁸ Especialmente (y como consecuencia del progreso de la metalurgia) con la construcción metálica y el cemento armado.

¹⁶⁹ En efecto, el cine sonoro fue motivo para el joven arte del cine mudo.

repercusiones humanas¹⁷⁰, sino también todo lo que constituye la trama —y el encanto— de nuestra vida cotidiana: la alimentación, los transportes, las relaciones sociales, las distracciones, la música y los espectáculos, cuya forma más popular e industrializada, el cine, ha nacido ya dos veces, producto y víctima ya de las más recientes mutaciones técnicas de nuestra época¹⁷¹.

Pero la técnica es más audaz todavía y terminará por desplazar al hombre de un dominio milenario, de una larga serie de gestos y costumbres en los que nuestro cuerpo y la vida de la tierra se asociaban tan íntimamente que esta comunión pudo parecer eterna: el trabajo del campo sufrirá a su vez la ley implacable de nuestro genio industrial que hace penetrar la mecánica hasta las fuentes mismas de la vida¹⁷².

La vida agrícola y la técnica.

El arado con ruedas, el enganche de las caballerías y el abono artificial fueron sin duda revoluciones importantes en el cultivo de la tierra. Pero estas revoluciones estaban a la altura del hombre y respetaban el contacto íntimo entre el agricultor y la tierra, la adaptación de su vida al ritmo y a la escala de sus trabajos. Las mecánicas modificaron primero el equilibrio del espacio cultivable y luego, con la intervención del motor, el ritmo del progreso industrial alcanzó también al cultivo de la tierra. El agricultor debió transformarse en mecánico. Con los abonos químicos y los nuevos cultivos la intimidad misma de la tierra está sometida a las audacias del laboratorio. Además esta tierra transformada debe soportar todas las necesidades económicas de la sociedad mecánica, ajena a los equilibrios tradicionales entre las sugerencias de la naturaleza y las necesidades vitales del hombre.

¹⁷⁰ Por medio de la ciencia biológica ya la mecanización no es la única que actúa sobre el dominio vital. Las nuevas técnicas pueden modificar directamente las condiciones del equilibrio y del desarrollo, en particular, del desarrollo humano.

¹⁷¹ Con la máquina, es decir con el perfeccionamiento continuo de la máquina y de su uso, los productos se multiplican, y se reducen los costos merced a la producción en serie; clases enteras, y las más pobres, pueden gozar de ciertos bienes, la duración del trabajo y la servidumbre material del hombre se reducen. Pero estos efectos admirables conducen necesariamente a la "desocupación tecnológica", a la superproducción, a las crisis industriales, al desequilibrio cada vez mayor de nuestras sociedades y, en gran parte, a las guerras de nuestras civilizaciones contemporáneas, tan temibles por su potencia destructiva como por la amplitud de las masas humanas que sufren las consecuencias y por la degradación moral que engendran.

¹⁷² Taylor, compenetrado del espíritu profundo de la producción industrial y del desarrollo racional de las técnicas, fue un Verdadero "verdugo del trabajo" y verdugo de sí mismo. Su vida, acortada por su misma técnica de sobretensión intelectual, es Un ejemplo extraordinario de despotismo interior en la voluntad de organización, aplicada a todo y a todos.

Las crisis.

Una sociedad fundada en el desarrollo de la máquina debe seguir el ritmo de sus propios inventos, so pena de entorpecer el enorme mecanismo total, compendio de todos esos mecanismos que se engendran sin cesar. Nuestra época, que renuncia a conciliar el respeto de todas las aspiraciones humanas y las reglas de la actividad industrial, parece haber sacrificado el servicio de nuestros otros fines al éxito puramente técnico.

Las crisis que de ello resultan, crisis económicas y sociales pero también políticas y religiosas, traducen la protesta de nuestras aspiraciones frustradas. Revelan una contradicción fundamental entre la variedad de nuestras tendencias y la aridez uniforme de nuestras disciplinas de acción.

La explotación del hombre por la máquina.

El conflicto alcanza su punto culminante cuando la máquina entra directamente en contacto con el hombre, es decir, en la técnica de producción industrial. La autonomía de la máquina, su potencia casi ilimitada de reproducción y crecimiento, tiene la desventaja de subordinar radicalmente el hombre a las leyes del mundo mecánico o, más exactamente, al ritmo puramente técnico de una observación minuciosa que, con un control experimental incesante, conduce a razonamientos precisos y perfeccionados. En resumen el empleo del hombre por la máquina es también objeto de una técnica cuyo perfeccionamiento es idéntico a los métodos habituales de perfeccionamiento de los mecanismos industriales.

El taylorismo.

Un célebre ingeniero norteamericano, Federico Winslow Taylor a creó esta racionalización de los actos elementales del obrero. Para mejorar las condiciones de rendimiento y determinarlas experimentalmente, perfeccionó el sistema de primas, de descomposición de los movimientos, de cronometraje de la duración de los movimientos. Una de las aplicaciones más difundidas¹⁷³ de este método, conocido

¹⁷³ Mientras Taylor se dedica con ahínco a reducir directamente el tiempo perdido por el hombre, Ford (que vulgarizó el trabajo en Serie) consigue lo mismo con sólo regular la colaboración racional de los mecanismos. Pero, como el hombre es parte integral del conjunto de esos mecanismos, el resultado es igual. La esclavitud del hombre a pesar de ser indirecta es igualmente real y eficaz. Discípulos fervientes de Taylor prosiguieron sus trabajos. Estos procedimientos, aplicados a la organización total de una industria, dieron origen a los célebres métodos de

universalmente con el nombre de taylorismo, es el "trabajo en serie". En los procedimientos de Taylor, en el "trabajo en serie" resulta evidente la lucha entre las leyes de la perfecta organización mecánica y las propiedades psicológicas del ser humano, especialmente su inclinación invencible a defender la libertad de su ritmo corporal, es decir su "estilo" de acción y de vida.

Seria prolijo enumerar los daños ocasionados por el trabajo en serie y de un modo general por la racionalización excesiva del trabajo industrial y cuyos frutos aceptamos, sin embargo.

El reino de las técnicas.

Los sufrimientos de todo el mundo, el desequilibrio creciente y las crisis periódicas nos obligarán a mirar de frente nuestra responsabilidad. Para determinar sus orígenes intelectuales deberemos de conocer a conciencia el reino de las técnicas en nosotros y alrededor de nosotros mismos.

Apenas comenzamos a sospechar que las máquinas que nos rodean tienen una especie de existencia, autónoma. Las mismas, como todas las producciones de la vida, nos plantean simultáneamente problemas de estructura y problemas de evolución. Sus familias son tal vez más complejas que las familias de los seres vivos y su clasificación está aún en evolución. Las máquinas se producen y reproducen según leyes generales que nos son desconocidas y cuya lógica sobrepasa tal vez nuestra lógica.

Para dirigir nuestra vida material y moral debemos estar en condiciones de concebir las leyes del mundo de la técnica pues nuestro destino y el de nuestras máquinas¹⁷⁴ son inseparables. Éstas no existirían sin nosotros pero nosotros ya no podemos existir sin ellas. Las máquinas destruyeron nuestro viejo mundo porque rehicieron

racionalización, y en Francia a los procedimientos de administración general llamados de "taylorismo", nombre derivado del de su promotor. El ideal actual de los representantes de la organización científica del trabajo es preservar el equilibrio del trabajador pero inspirados en el interés mismo de una mejor producción.

¹⁷⁴ La técnica que invade toda nuestra vida es un hecho que sobrepasa los límites de la voluntad individual. El ideal de hombre "completo" se ha caracterizado siempre por el dominio de la acción. Actualmente la acción humana ya no está a la altura de nuestro cuerpo, a la altura de esa sangre, de esos músculos, de ese sistema nervioso que los experimentos simples realizados durante siglos nos enseñaron a dominar. Si no queremos vernos arrastrados, aplastados por el nuevo peso de nuestros actos, debemos aprender a conocer y respetar en nosotros mismos y en todos los seres que nos rodean, esta especie de segunda naturaleza creada por nuestra potencia material. Debemos sentirnos responsables aún de aquello que es superior a nosotros mismos y medir el valor de nuestros deseos en las repercusiones infinitas de sus consecuencias técnicas. En el campo significativo de la ética industrial la reciente historia de nuestra civilización pone en evidencia la acción y la reacción psicológica y el valor tóxico y antitóxico del progreso tóxico y finalmente su función educativa.

toda nuestra psicología¹⁷⁵. Revelan en nosotros, como en todo el universo, el empuje de una misma tendencia inventiva.

El reino de las técnicas, que parece iniciarse con un gigantesco florecimiento de esclavos materiales que trastornan completamente el orden económico y social, nos promete una vida intelectual más amplia y una vida moral más pura, siempre que el hombre sea capaz de adaptarse a la lógica de sus creaciones. Nuestro mundo inarmónico tiene sed de reglas simples y justas; nuestra existencia peligrosa reclama un arte de vivir valiente y comprensivo: técnicas del espíritu más difíciles de determinar que las de la materia pero que tienden a los mismos fines.

La acción total de la Humanidad en su planeta que anunciaba Augusto Comte, sobrepasa las formas exteriores de la vida práctica; el ritmo de nuestro trabajo compromete todos nuestros valores.

Para aliviar el sufrimiento del hombre, la herramienta de nuestros antepasados venció las resistencias de la materia. Nuestras máquinas, más rápidas y más sabias, se proponen también aliviar nuestros esfuerzos, pero se anticipan a nuestro destino. Hijas de nuestra razón, nos imponen su sabiduría; nos obligan a repudiar nuestras servidumbres interiores; prolongan en nosotros y sobre nosotros la obra de ese artesano milenario cuyos gestos señalaron en todas partes los primeros signos de nuestra libertad.

F I N

¹⁷⁵ El problema central de la filosofía contemporánea podría plantearse de la siguiente manera: ¿Pueden "compensarse" las técnicas de la materia y las del espíritu? O dicho de Otro modo: ¿"Las fuerzas renovadoras de la psicología humana pueden penetrar la realidad técnica"?