Norbert Wiener

Cibernética y sociedad

Editorial Sudamericana

CIBERNÉTICA Y SOCIEDAD

COLECCIÓN CIENCIA Y CULTURA

NORBERT WIENER

Profesor de Matemáticas del
Instituto de Tecnología de Massachusetts

CIBERNÉTICA Y SOCIEDAD

Traducción de
JOSÉ NOVO CERRO

EDITORIAL SUDAMERICANA
BUENOS AIRES

PRIMERA EDICION
Octubre de 1958

TERCERA EDICION
Abril de 1988

IMPRESO EN LA ARGENTINA

Queda hecho el depósito que previene la ley 11.723. © *1958, Editorial Sudamericana S.A., Humberto I 531, Buenos Aires.*

Título original en inglés:
The human use of human beings. Cybernetics and Society"

ISBN 950-07-0481-1

A la memoria de mi padre, LEO WIENER, *ex profesor de lenguas eslavas en la Universidad de Harvard, mi más íntimo mentor y más amado antagonista.*

AGRADECIMIENTO

Parte de un capítulo ha aparecido ya en *Philosophy of Science.* El autor agradece el permiso concedido por el editor de esa publicación para reimprimirlo.

PRÓLOGO

LA IDEA DE UN UNIVERSO CONTINGENTE

El comienzo del siglo XX fue algo más que el fin de un período de cien años y la iniciación de otro. Existió una verdadera reorientación de los puntos de vista aún antes que se efectuara la transición política entre una centuria de paz y el medio siglo de guerras por el que acabamos de pasar. Ese cambio se manifestó quizás primeramente en la ciencia, pero es muy posible que lo que influyó en ella condujera independientemente a la notable diferencia que encontramos entre el arte y la literatura del siglo pasado y del actual.

La física newtoniana que reinó desde el siglo XVII hasta fines del XIX, sin encontrar casi oposición, describía un universo en el que todo ocurría exactamente de acuerdo con una ley, un cosmos compacto, organizado en todas sus partes, en el que la totalidad del futuro dependía de la del pasado. Experimentalmente, no se puede rechazar ni aceptar por entero esa representación que, en gran parte, es una cosmovisión que complementa la experiencia, pero que, en muchos aspectos, es más universal que cualquier cosa capaz de ser experimentalmente verificada. Nuestros imperfectos experimentos nunca pueden verificar si un conjunto u otro de leyes físicas se justifica hasta la última cifra decimal. Sin embargo, la física newtoniana estaba obligada a enunciar y formular esa ciencia como si estuviera sometida a tales leyes. Actualmente ya no es esa la actitud predominante en la física; los que más contribuyeron a ese derrumbe fueron Boltzmann en Alemania y Gibbs en los Estados Unidos.

Ambos físicos intentaron aplicar radicalmente una idea nueva y asombrosa. Tal vez la utilización de la estadística, cuya introducción en la física se debió en gran parte a ellos, no era completamente nueva, pues Maxwell y otros habían considerado mundos de un número muy grande de partículas que necesariamente debían tratarse estadísticamente. Pero lo que hicieron Boltzmann y Gibbs fue introducir la estadística como un método completo, aplicable no sólo a sistemas enormemente complejos, sino también a sistemas tan sencillos como los de una sola partícula en un campo de fuerza.

La estadística es la ciencia de la distribución; la considerada por esos modernos hombres de ciencia no tenía en cuenta un número muy grande de partículas similares, sino que investigaba las diferentes posiciones y velocidades que podían ser punto de partida de un sistema. En otras palabras, según Newton las mismas leyes físicas se aplicaban a diversos sistemas que partían de distintas posiciones y con variados momentos. Los modernos métodos arrojaron una luz enteramente nueva sobre este punto de vista. Retuvieron sin embargo el principio según el cual ciertos sistemas pueden distinguirse de otros por su energía total, pero rechazaron la hipótesis según la cual aquéllos, con la misma energía total, pueden distinguirse entre sí claramente por tiempo indefinido y describirse eternamente su comportamiento mediante leyes causales invariables.

Realmente, la obra de Newton contenía implícitamente una importante reserva estadística que ignoró el siglo XVIII, aunque totalmente newtoniano. Ninguna medida física es precisa; lo que hemos de decir acerca de una máquina u otro sistema dinámico se refiere realmente, no a lo que debemos esperar, dados con perfecta precisión (lo que nunca ocurre) las posiciones y los momentos iniciales, sino a lo que puede ocurrir cuando se dan esos datos con la exactitud alcanzable. Eso significa que conocemos, no las condiciones iniciales, sino algo acerca de su distribución. En otras palabras, la parte funcional de la física no puede dejar de considerar la incertidumbre y la contingencia de los fenómenos. Fue mérito de Gibbs haber enunciado por

primera vez un claro método científico para considerar esa contingencia.

El historiador de la ciencia busca en vano una sola línea de desarrollo. Aunque las investigaciones de Gibbs eran claras, carecían de conexión y otros debieron completar el trabajo que él empezó. Basó sus investigaciones en una intuición: en general, todo sistema físico, perteneciente a una clase de sistemas físicos que conserve su identidad como clase, acaba reproduciendo en casi todos los casos la distribución que posee en un instante dado. En otras palabras, en ciertas circunstancias, un sistema pasa por todas las distribuciones de posición y de momentos compatibles con su energía, si funciona un tiempo suficientemente largo.

Sin embargo, esta última proposición no es cierta ni posible sino en sistemas triviales. Pero hay otro camino que conduce a los resultados que necesitaba Gibbs para mantener su hipótesis. La ironía de la historia consiste en que, en París, se exploraba completamente esa ruta al mismo tiempo que Gibbs trabajaba en New Haven; sólo en 1920 ambos senderos se encontraron en una unión fructuosa. Creo que tuve el honor de ayudar al nacimiento del primer hijo de ese matrimonio.

Gibbs utilizaba teorías de la medida y de probabilidades que tenían ya veinticinco años de antigüedad y que eran groseramente inadecuadas para sus necesidades. Sin embargo, al mismo tiempo, Borel y Lebesgue en París elaboraban una teoría de la integración que había de demostrar su utilidad para las ideas de Gibbs. Borel era un matemático que había adquirido una reputación en la teoría de probabilidades, con un excelente sentido para la física. Hizo algunas investigaciones que condujeron a la teoría de la medida, pero no la llevó hasta tal punto que pudiera considerarse completa. Su discípulo Lebesgue, que era una personalidad enteramente distinta, hizo eso. No tenía sentido ni interés por la física. Sin embargo, Lebesgue resolvió el problema planteado por Borel, pero consideró que la solución no era más que una herramienta para el estudio de las series de Fourier y otras cuestiones de matemática superior.

Cuando se planteó la candidatura de ambos para un asiento en la Academia Francesa de Ciencias, se produjo un violento altercado entre ellos; sólo después de denigrarse mutuamente con gran amplitud, se concedió ese favor a ambos. Sin embargo, Borel siguió insistiendo en la importancia física, en cuanto herramienta, de las investigaciones de su antagonista y las suyas propias, pero creo ser la primera persona que en 1920 aplicó la integral de Lebesgue a un problema físico concreto: el movimiento browniano.

Eso ocurrió mucho después del fallecimiento de Gibbs; durante dos décadas sus investigaciones fueron uno de esos misterios de la ciencia que se ajustan a la realidad aunque parece que no deberían hacerlo. Muchos hombres han tenido intuiciones que se adelantaron a su época, lo que también ocurre en física matemática. Gibbs introdujo la probabilidad en la física mucho antes que existiera una teoría de la probabilidad como la que él necesitaba. A pesar de todas esas fallas, estoy convencido de que a él, más que a Einstein, Heisenberg o Planck, debemos atribuir la primera revolución de importancia en la física del siglo XX.

Ha conducido a que actualmente la física ya no se ocupa de lo que ocurrirá siempre, sino más bien de lo que pasará con una probabilidad muy grande. Al principio, en las mismas investigaciones de Gibbs, esa actitud contingente se apoyaba en una base newtoniana, en la cual los elementos, cuya probabilidad se discutía, eran sistemas que obedecían a las leyes de Newton. La teoría de Gibbs era esencialmente nueva, pero los casos posibles eran los mismos que los considerados por Newton. Desde entonces, se ha descartado o modificado la base newtoniana y la contingencia de Gibbs es hoy, en toda su desnudez, la verdadera base de la física. Es cierto que todavía no está terminada la cuestión y que Einstein y, en algunos puntos, De Broglie mantienen aún que un universo rígidamente determinista es más aceptable que otro contingente, pero esos grandes hombres de ciencia conducen una batalla de retaguardia contra las fuerzas enormemente superiores de las generaciones jóvenes.

Uno de los interesantes cambios ocurridos es que, en un mundo probabilístico, ya no manejamos cifras o afirmaciones que se refieren a un universo determinado y real en su totalidad, sino que nos planteamos cuestiones que pueden encontrar una solución en un número muy grande de universos similares. Se admite, pues, la probabilidad, no sólo como una herramienta matemática para la física, sino como parte de su misma esencia.

Reconocer la existencia de un determinismo incompleto, casi irracional, en el universo, es como admitir con Freud que hay una profunda componente irracional en la conducta y en el pensamiento del hombre. En el mundo actual de confusión, tanto política como intelectual, existe una tendencia natural a considerar que Gibbs, Freud y los que cultivan la moderna teoría de la probabilidad, son representantes de la misma tendencia; no deseo insistir sobre ello. La distancia que media entre el modo de pensar de Gibbs-Lebesgue y el método intuitivo y algo discursivo de Freud es demasiado grande. Sin embargo, al reconocer un elemento fundamental de probabilidad en la estructura del universo, esos hombres están íntimamente unidos entre sí y con la tradición de San Agustín. Pues ese elemento arbitrario, esa carencia de totalidad orgánica es algo que, sin llevar el simbolismo verbal lejos, es el mal; el mal negativo que San Agustín caracteriza como una carencia de perfección, opuesto al principio maléfico positivo de los maniqueos.

Este libro está dedicado a considerar el efecto del punto de vista de Gibbs sobre la vida moderna, tanto en lo que respecta a los cambios sustanciales a que ha conducido en la actividad científica, como a los producidos indirectamente en nuestra actitud vital general. Los capítulos que siguen contienen en parte descripciones técnicas, así como una parte filosófica que se refiere a lo que hacemos y a la manera como deberíamos reaccionar ante el nuevo mundo que se nos presenta.

Repito que la novedad de Gibbs consistió en considerar, no un universo, sino todos los que son respuestas posibles a un conjunto limitado de cuestiones que se refieren a nuestro medio. Lo fundamental de su idea consiste en discernir hasta qué

punto son probables en un conjunto mayor de universos las respuestas que podemos dar a ciertas preguntas para algunos de ellos. Gibbs creía además que esa probabilidad tendería naturalmente a aumentar con la edad del universo. Se llama entropía a la medida de esa probabilidad, cuya característica principal es la de ser siempre creciente.

Al aumentar ella, el universo, junto con todos los sistemas cerrados que contiene, tiende naturalmente a empeorar y a perder sus caracteres distintivos, a pasar del estado menos probable al más probable, de un estado de organización y de diferenciación, en el cual existen rasgos y formas, a otro de caos e identidad. En el universo de Gibbs el orden es menos probable, el caos más probable. Pero mientras el universo en su totalidad, si existe en cuanto total, tiende a ese estado definitivo, existen enclavados locales, cuya dirección parece opuesta a la del universo como un todo en los cuales hay una tendencia temporal y limitada a aumentar la complejidad de su organización. La vida encuentra asilo en algunos de esos enclavados. Ligada instintivamente a esa idea desde un principio, se inicia el desarrollo de la nueva ciencia: la cibernética.[1]

[1] Hay algunos escépticos respecto a la identidad precisa entre entropía y desorganización biológica. Será necesario que estime esas críticas, tarde o temprano, pero por ahora debo suponer que la diferencia radica, no en la naturaleza fundamental de esas cantidades, sino en los sistemas en los que se las observa. Es demasiado esperar una definición clara y neta de la entropía en la que coincidan todos los autores para algo distinto del sistema aislado y cerrado.

I

HISTORIA DE LA CIBERNÉTICA

Desde que terminó la segunda guerra mundial, he trabajado en la teoría de los mensajes. Además de la parte electrotécnica de su transmisión, existe un campo muy amplio que incluye, no sólo el estudio del lenguaje, sino además el estudio de los mensajes como medio de manejar aparatos o grupos humanos, el desarrollo de las máquinas de calcular y otros autómatas similares, algunas reflexiones sobre la psicología y el sistema nervioso y una tentativa de enunciar una nueva hipótesis del método científico. Esta teoría más amplia de los mensajes es probabilística y parte intrínseca de aquella corriente que debe su origen a Willard Gibbs y que describí en la introducción.

Hasta hace muy poco tiempo no existía una voz que comprendiera ese conjunto de ideas; para poder expresarlo todo mediante una palabra, me vi obligado a inventarla. De ahí: cibernética, que derivé de la voz griega *kubernetes* o timonel, la misma raíz de la cual los pueblos de Occidente han formado gobierno y de sus derivados. Por otra parte, encontré más tarde que la voz había sido usada ya por Ampère, aplicada a la política, e introducida en otro sentido por un hombre de ciencia polaco; ambos casos datan de principios del siglo XIX.

He escrito un libro más o menos técnico intitulado *Cibernética,* que apareció en 1948. Respondiendo a ciertos pedidos para que pusiera esas ideas al alcance de los profanos, publiqué en 1950 la primera edición de *Cibernética y sociedad.* Desde entonces, el tema, que consistía en esa época en unas pocas

ideas compartidas por los doctores Claude Shannon, Warren Weaver y yo, se ha convertido en un campo permanente de investigación. En consecuencia, aprovecho la oportunidad que me da esta nueva edición para ponerla al día y suprimir ciertos defectos e incongruencias de su estructura original.

Al dar la definición de cibernética en la primera edición, puse en la misma categoría las comunicaciones y el gobierno de las máquinas. ¿Por qué lo hice? Cuando me pongo en contacto con otra persona, le doy un mensaje; cuando responde, me da algo en relación con lo que dije y que contiene informes accesibles a él primordialmente y no a mí. Cuando regulo los actos de otra persona, le comunico un mensaje; aunque esté en modo imperativo, la técnica de la comunicación no difiere de la del que enuncia hechos. Además, si mi regulación ha de ser efectiva, debo tomar conocimiento de cualquier mensaje de él que indique haber comprendido y obedecido la orden.

La tesis de este libro consiste en que sólo puede entenderse la sociedad mediante el estudio de los mensajes y de las facilidades de comunicación de que ella dispone y, además, que, en el futuro, desempeñarán un papel cada vez más preponderante los mensajes cursados entre hombres y máquinas, entre máquinas y hombres y entre máquina y máquina.

Cuando doy una orden a una máquina, la situación no difiere esencialmente de la que se produce cuando mando algo a una persona. En otras palabras, en lo que respecta a mi conciencia, percibo la emisión de la orden y los signos de asentimiento que vuelven. Para mí, personalmente, que la señal, en sus etapas intermediarias, haya pasado por una máquina o por una persona carece de importancia y de ninguna manera cambia esencialmente mi relación con la señal. Así la teoría de la regulación en ingeniería, sea humana, animal o mecánica, es un capítulo de la teoría de los mensajes.

Naturalmente, existen diferencias de detalle en los mensajes y en los problemas de regulación, no sólo entre un organismo vivo y una máquina, sino también dentro de cada clase más especializada de seres. Es propósito de la cibernética desarrollar

una lengua y unas técnicas que nos permitan, no sólo encarar los problemas más generales de comunicación y regulación, sino además establecer un repertorio adecuado de ideas y métodos para clasificar sus manifestaciones particulares por conceptos.

Las órdenes mediante las cuales regulamos nuestro ambiente son una especie de información que le impartimos. Como cualquier otra clase de informe, están sometidas a deformaciones al pasar de un ente a otro. Generalmente llegan en una forma menos coherente y, desde luego, no más coherente que la de partida. En las comunicaciones y en la regulación luchamos siempre contra la tendencia de la naturaleza a degradar lo organizado y a destruir lo que tiene sentido, la misma tendencia de la entropía a aumentar, como lo demostró Gibbs.

Gran parte de este libro se ocupa de los límites de las comunicaciones entre individuos. El hombre se encuentra sumergido en un mundo que percibe mediante sus sentidos. El cerebro y el sistema nervioso coordinan los informes que reciben, hasta que, después de almacenarlos, colacionarlos y seleccionarlos, resurgen otra vez mediante órganos de ejecución, generalmente los músculos. Éstos a su vez actúan sobre el mundo exterior y reaccionan sobre el sistema nervioso central mediante receptores tales como los extremos de la sensación cenestésica; la información que éstos proporcionan se combina con la acumulación de vivencias pasadas influyendo sobre las acciones futuras.

Damos el nombre de información al contenido de lo que es objeto de intercambio con el mundo externo, mientras nos ajustamos a él y hacemos que se acomode a nosotros. El proceso de recibir y utilizar informaciones consiste en ajustarnos a las contingencias de nuestro medio y de vivir de manera efectiva dentro de él. Las necesidades y la complejidad de la vida moderna plantean a este fenómeno del intercambio de informaciones demandas más intensas que en cualquier otra época; la prensa, los museos, los laboratorios científicos, las universidades, las bibliotecas y los libros de texto han de satisfacerlas o fracasarán en sus propósitos. Vivir de manera efec-

tiva significa poseer la información adecuada. Así, pues, la comunicación y la regulación constituyen la esencia de la vida interior del hombre, tanto como de su vida social.

El lugar que ocupa el estudio de las comunicaciones en la historia de la ciencia no es trivial, ni fortuito, ni nuevo. Aun antes de Newton esos problemas eran corrientes en la Física; especialmente en las investigaciones de Fermat, Huyghens y Leibnitz; todos ellos compartían el interés por una ciencia cuyo centro no era la mecánica sino la óptica, la comunicación de imágenes visuales.

Fermat hizo progresar el estudio de la óptica con su principio, según el cual la luz, en un recorrido suficientemente corto, sigue la trayectoria que le exige el tiempo mínimo para pasar de un punto a otro. Huyghens enunció la forma primitiva del principio que se designa hoy con su nombre, diciendo que la luz se propaga desde un punto luminoso creando algo así como una pequeña esfera, formada por fuentes secundarias que propagan la luz como lo hace la primitiva. Mientras tanto, Leibnitz consideraba que todo el universo está compuesto de mónadas cuya actividad consiste en la percepción mutua, basándose en una armonía preestablecida por Dios; es bastante claro que para él esa acción mutua era en gran parte óptica. Aparte de esa percepción, las mónadas no tienen "ventanas", por lo que, según él, todos los efectos mecánicos mutuos no son más que una sutil consecuencia de la acción óptica entre ellas.

La preocupación por la óptica y los mensajes que aparece claramente en esta parte de la filosofía de Leibnitz, se encuentra también en toda su obra. Desempeña un importante papel en dos de sus ideas originales: la *Characteristica Universalis* o sea un lenguaje científico para todas las artes y ciencias y el *Calculus Ratiocinator* o cálculo lógico que, aunque imperfecto, es el antepasado directo de la moderna lógica matemática.

Leibnitz, poseído por la idea de las comunicaciones, es en varios aspectos, el antepasado intelectual de los conceptos de este libro, pues también se interesó por las máquinas de calcular y los autómatas. Mis ideas, las expuestas en este libro,

están lejos de ser leibnitzianas, aunque lo sean ciertamente los problemas de que me ocupo aquí. Las máquinas de calcular de Leibnitz fueron sólo un resultado de su interés por un lenguaje aritmético, por un cálculo razonador que para él era sólo una extensión de su idea de un lenguaje artificial completo. Es decir que, aun al ocuparse de máquinas de calcular, el interés capital de Leibnitz residía primordialmente en la lingüística y en las comunicaciones.

A mediados del siglo pasado, las investigaciones de Clerk Maxwell y de Faraday, su precursor, atrajeron nuevamente la atención de la física hacia la óptica, la ciencia de la luz, considerada desde entonces como un aspecto de la electricidad que podía reducirse a la mecánica de un curioso medio invisible y rígido llamado éter; en aquella época se suponía que el éter impregnaba la atmósfera, el espacio interestelar y todas las sustancias transparentes. Las investigaciones ópticas de Clerk Maxwell consistieron en desarrollar matemáticamente las ideas que Faraday había expresado sin fórmulas de manera muy clara. El estudio del éter planteaba ciertas cuestiones cuya respuesta no era muy evidente como, por ejemplo, la del movimiento de la materia a través de ese medio. Con la famosa experiencia de Michelson y Morley en la última década del siglo XIX se pretendió resolver ese problema; proporcionó una respuesta inesperada: no hay ningún modo de determinar el movimiento de la materia a través del éter.

La primera solución satisfactoria del problema que planteó el resultado de ese experimento fue dada por Lorentz; este investigador explicó que, si son eléctricas u ópticas las fuerzas que mantienen unida la materia, debería esperarse un resultado negativo del experimento de Michelson y Morley. Sin embargo, Einstein, en 1905, puso esas ideas de Lorentz en forma tal que la imposibilidad de observar el movimiento absoluto venía a ser un postulado de la física y no consecuencia de alguna estructura peculiar de la materia. En lo que respecta a nuestros propósitos importa que, en las investigaciones de Einstein, la luz y la materia se encuentran en un pie de igualdad, como

ocurría en las obras de los autores anteriores a Newton, sin la subordinación newtoniana de todo a la materia y al movimiento.

Para explicar sus ideas, Einstein utiliza ampliamente el ejemplo de un observador en reposo o en movimiento. En su teoría de la relatividad es imposible introducir un observador sin incluir al mismo tiempo el concepto de mensaje y sin volver de hecho a colocar el centro de gravedad de la física en un estado *quasi*-leibnitziano, cuya tendencia es nuevamente óptica. La teoría de la relatividad de Einstein y la mecánica estadística de Gibbs se encuentran en campos enteramente opuestos, pues el primero, como Newton, se ocupa de la dinámica de cuerpos absolutamente rígidos, sin introducir la idea de probabilidad. Por otra parte, las investigaciones de Gibbs caen completamente dentro del cálculo de probabilidades; sin embargo, ambas tendencias equivalen a desplazar el punto de vista de la física; en ellas, por un método u otro, se reemplaza el universo tal como existe realmente por otro, conforme a las observaciones que se hayan efectuado; el arcaico realismo ingenuo de la física cede a algo que Berkeley habría considerado con una sonrisa de satisfacción.

Aquí conviene revisar algunas ideas acerca de la entropía que aparecieron ya en el prólogo. Como ya hemos dicho, ese concepto es una de las más importantes diferencias que distinguen la mecánica de Gibbs de la newtoniana. Para el primero, poseemos una cantidad física que no pertenece al mundo exterior como tal, sino a un cierto conjunto de mundos exteriores posibles y, en consecuencia, a la respuesta a ciertas preguntas específicas que podemos plantear respecto al mundo exterior. La física se convierte entonces, no en la discusión de un universo exterior que puede considerarse como la respuesta total de todas las cuestiones que se refieren a él, sino como una reseña de respuestas a preguntas mucho más limitadas. Efectivamente, ya no nos ocupamos de estudiar todos los mensajes posibles recibidos o enviados; nos interesa la teoría de los más específicos que entran o salen; ello implica una medida del contenido de información proporcionado, que ya no es infinito.

Por su naturaleza, los mensajes son una forma y una organización. Efectivamente es posible considerar que su conjunto tiene una entropía como la que tienen los conjuntos de los estados particulares del universo exterior. Así como la entropía es una medida de desorganización, la información, que suministra un conjunto de mensajes, es una medida de organización. De hecho puede estimarse la información que aporta uno de ellos como el negativo su entropía y como el logaritmo negativo de su probabilidad. Es decir, cuanto más probable es el mensaje, menos información contiene. Por ejemplo, un clisé proporciona menos información que un gran poema.

Ya he hablado del interés de Leibnitz por los autómatas, que casualmente compartía también un contemporáneo suyo: Blas Pascal; éste contribuyó en gran parte al desarrollo de lo que ahora llamamos máquina de calcular de escritorio. Leibnitz consideró que la concordancia de los relojes puestos a la misma hora era un modelo de la armonía preestablecida de las mónadas. Pues la técnica de los autómatas de aquel tiempo era la de los relojeros. Observemos la actividad de las figurillas que bailan en la tapa de una caja de música. Se mueven de acuerdo con un plan, dispuesto de antemano, en el cual su actividad anterior no tiene absolutamente nada que ver con la futura. La probabilidad de que se aparten de ese plan es nula. Naturalmente hay un mensaje, pero va de la máquina a las figuras y no pasa de ahí. Ellas mismas no aportan ninguna comunicación al mundo exterior excepto la unilateral del movimiento preestablecido en el mecanismo. Son ciegas, sordas y mudas y no pueden desviarse de la actividad impuesta por el constructor.

Compárese eso con el comportamiento de un hombre o de un animal moderadamente inteligente tal como un gatito. Lo llamo y levanta la cabeza. Le envío un mensaje que reciben sus órganos sensoriales y que se manifiesta en la acción. Tiene hambre y lanza un maullido llorón. Es él entonces el trasmisor de un mensaje. Extiende sus patas tratando de agarrar una pelota atada a un hilo. Cuando la pelota se mueve hacia la izquierda, el animal la agarra con la pata del mismo lado. En

este caso, se trasmiten y reciben mensajes de estructura muy complicada a través del sistema nervioso del animal, mediante ciertas terminaciones en sus articulaciones, músculos y tendones; por estos mensajes, el animal conoce la posición real y la tensión de sus tejidos. Sólo mediante esos órganos es posible algo como la habilidad manual.

He comparado el comportamiento preestablecido de las figurillas de la caja de música con la conducta contingente de los seres humanos y de los animales. Pero no ha de suponerse que la caja de música es típica del comportamiento de cualquier aparato.

Las máquinas más antiguas, en particular, las primeras tentativas de producir autómatas, funcionaban como el mecanismo de un reloj, sin admitir variación después de iniciado el movimiento. Pero las modernas, tales como los proyectiles teledirigidos, la espoleta de aproximación, el mecanismo de apertura automática de las puertas, los aparatos de regulación de una fábrica de productos químicos y las otras que efectúan trabajos militares o industriales, poseen órganos sensoriales, es decir, mecanismos de recepción de mensajes que provienen del exterior. Pueden ser tan sencillos como una célula fotoeléctrica, que cambia cuando la luz incide sobre ella y que puede distinguir la luz de la obscuridad, o tan complicados como un aparato de televisión. Pueden medir una tensión por el cambio que produce en la conductibilidad de un alambre sometido a ella o estimar temperaturas mediante un par termoeléctrico, que consiste en dos metales distintos íntimamente unidos que producen una corriente cuando se calienta uno de ellos. Todo instrumento del repertorio del fabricante de aparatos científicos es un órgano sensorial posible; mediante sistemas eléctricos se obtiene que las lecturas se registren a distancia. Así, pues, ya poseemos desde hace tiempo máquinas cuyo comportamiento está regulado por el mundo exterior.

También nos es familiar la máquina que obra sobre su ambiente al recibir un mensaje. Toda persona que ha pasado por la estación Pennsylvania de Nueva York conoce el aparato

fotoeléctrico para abrir puertas. Cuando llega a él un mensaje, que consiste en la intercepción de un rayo luminoso, se abre la puerta y el viajero pasa a través de ella.

Las etapas entre la recepción de un mensaje mediante aparatos de este tipo y la ejecusión de una tarea pueden ser muy simples, como en el caso de la apertura de una puerta, o pueden tener cualquier grado de complejidad deseada, dentro de los límites de nuestra técnica actual. Una acción compleja es aquella en que los datos introducidos, que llamaremos *entrada*, implican un gran número de combinaciones para obtener un efecto, que llamaremos *salida,* sobre el mundo exterior. Esta última es combinación de los datos recibidos en ese momento y de los hechos registrados en el pasado, que llamaremos *memoria* y que guarda el aparato. Las más complicadas máquinas construidas hasta ahora que transforman los datos de la entrada en otros de salida son las electrónicas de calcular de alta velocidad. La determinación de la forma de comportamiento de estas máquinas está dada por una entrada especial, que consiste generalmente en tarjetas perforadas, cintas o alambres magnéticos que fijan la manera cómo ha de actuar la máquina en una operación dada, una manera diferente de la que podría ser en otra ocasión. Debido al uso frecuente de tarjetas perforadas o de cintas magnéticas, los datos que se suministran al aparato y que indican el modo de operar de una de esas máquinas para combinar los informes, se llaman *tecleado.*

He dicho ya que el hombre y los animales poseen un sentido cenestésico, mediante el cual recuerdan la posición y la tensión de cada uno de sus músculos. Para que una máquina, sometida a un ambiente variable, funcione adecuadamente, es necesario que se la informe acerca de los resultados de sus propias acciones como parte de los datos de acuerdo con los cuales debe actuar. Por ejemplo, al manejar un ascensor, no basta abrir la puerta que da al corredor: las órdenes dadas deben conducir a que el ascensor se encuentre allí cuando abrimos la puerta. El funcionamiento del mecanismo de apertura debe depender de que el ascensor esté en ese piso; de lo con-

trario algo puede haberlo detenido y el pasajero caerá por el pozo. Esta regulación de una máquina de acuerdo a su funcionamiento real y no respecto a lo que se espera de ella se llama retroalimentación y presupone la existencia de sentidos que actúan mediante miembros motrices y que funcionan como elementos que registran una actividad. Esos mecanismos deben frenar la tendencia mecánica hacia la desorganización o, en otras palabras, deben producir una inversión temporal de la dirección normal de la entropía.

He mencionado hace un momento al ascensor, ejemplo de la importancia de la retroalimentación. Hay otros casos en los que su valor es aun más evidente. Por ejemplo, el artillero recibe ciertas informaciones de sus instrumentos de observación y las transmite al cañón, de tal modo que éste tenga una dirección tal que el proyectil pase por el blanco movible en cierto momento. Pero el arma ha de usarse cualquiera que sea la temperatura exterior. Si ésta es alta, la grasa es fluida y el cañón se mueve fácil y rápidamente. En otros casos, la grasa se endurece por el frío o está mezclada con arena, por lo que el tubo responde lentamente a las órdenes que se le dan. Si, en este último caso, cuando el cañón tarda en llegar a la posición deseada, se insiste mediante un impulso adicional, el error disminuirá. Para obtener un efecto lo más uniforme posible se acostumbra a interponer un elemento de retroalimentación, que determina la diferencia entre la posición real y la deseada y que da de acuerdo con esta diferencia un impulso adicional.

Es cierto que han de tomarse las precauciones necesarias para que no sea muy intenso, pues si lo es, el tubo pasará más allá de la posición correcta y habrá que hacerle girar de vuelta en una serie de oscilaciones que muy bien pueden aumentar en amplitud y conducir a una inestabilidad desastrosa. Si el sistema de retroalimentación se corrige automáticamente, en otras palabras, si sus propias tendencias entrópicas están limitadas por otros mecanismos que las mantienen entre muy estrechas cotas, eso no ocurrirá y la existencia de ese dispositivo aumentará la estabilidad del funcionamiento del cañón. Dicho de otra ma-

nera, la actividad dependerá menos de la carga de fricción o, lo que es lo mismo, del retardo causado por la rigidez de la grasa.

Algo muy similar a esto ocurre en los actos humanos. Si me llevo el cigarro a la boca, mi voluntad no mueve ningún músculo especial. En muchos casos, ni siquiera sé cuáles son. Lo que hago es poner en acción un mecanismo de retroalimentación análogo al ya descrito: un reflejo en el cual el esfuerzo, que no bastó para elevarlo, se convierte en una orden más intensa a los flojos músculos, cualesquiera que sean. De esta manera, órdenes voluntarias de bastante uniformidad permitirán ejecutar la misma tarea partiendo de posiciones iniciales sumamente diversas, sin tener en cuenta la disminución de la contracción de los cansados músculos. Análogamente, cuando manejo un coche, no ejecuto mecánicamente una serie de órdenes que dependen simplemente de una imagen mental del camino y de la tarea a realizar. Si encuentro que el vehículo se desvía mucho hacia la derecha, lo llevo hacia la izquierda. Eso depende del comportamiento real del coche y no simplemente del camino; me permite manejar con una eficacia casi idéntica un Austin de poco peso y un camión bien cargado, sin necesidad de formar hábitos específicos para cada uno de ambos casos. Volveré sobre este tema con mayor atención en el capítulo sobre máquinas especiales, al discutir el servicio que puede prestar su estudio a la neuropatología, cuando su comportamiento ofrece defectos como los que aparecen en el organismo humano.

Afirmo que el funcionamiento en lo físico del ser vivo y el de algunas de las más nuevas máquinas electrónicas son exactamente paralelos en sus tentativas análogas de regular la entropía mediante la retroalimentación. Ambos poseen receptores sensoriales en una etapa de su ciclo de operaciones, es decir, ambos cuentan con un aparato especial para extraer informes del mundo exterior a bajos niveles de energía y para utilizarlos en las operaciones del individuo o de la máquina. En ambos casos, esos mensajes del exterior no se toman en *bruto*, sino que pasan a través de los mecanismos especiales de transformación

que posee el aparato, vivo o inanimado. La información adquiere entonces una nueva forma utilizable en las etapas ulteriores de la actividad. Tanto en el animal como en la máquina, esa actividad se efectúa sobre el mundo exterior. En ambos, se informa al aparato regulador central la acción *ejecutada* sobre el ambiente y no simplemente la acción intentada. El hombre medio ignora este complejo conjunto de formas de conducta; en particular, no desempeña el papel que debiera en nuestro habitual análisis de la sociedad, pues así como pueden observarse desde este punto de vista las reacciones físicas del individuo, también podrían serlo las respuestas orgánicas de la sociedad misma. No pretendo que el sociólogo ignore la existencia y compleja naturaleza de las comunicaciones en la sociedad, pero, hasta hace muy poco tiempo, tendía a menospreciar su importancia como aglutinante de toda la urdimbre.

En este capítulo hemos visto la unidad fundamental de un complejo de ideas cuya conexión mutua no se había considerado lo suficiente hasta hace muy poco tiempo, a saber, la consideración contingente de los fenómenos físicos que introdujo Gibbs para modificar las convenciones newtonianas tradicionales, la actitud agustiniana respecto al orden y la conducta que exige ese punto de vista, y la teoría de los mensajes entre hombres y máquinas y en la sociedad, como una secuencia de hechos en lo temporal, que, aunque posee una cierta contingencia, intenta limitar la tendencia de la naturaleza hacia el desorden, ajustando sus partes a diversos propósitos.

II

EL PROGRESO Y LA ENTROPÍA

Como ya lo hemos visto, la tendencia estadística de la naturaleza hacia el desorden, hacia el aumento de la entropía, se expresa mediante la segunda ley de la termodinámica. Nosotros, los seres humanos, no somos sistemas aislados. Ingerimos alimento tomado del exterior que produce energía; como resultado, somos parte de ese mundo más amplio que contiene las fuentes de nuestra vitalidad. Pero lo más importante es que aceptamos informaciones mediante nuestros sentidos y que actuámos de acuerdo con ellas.

El físico conoce ya suficientemente la importancia de esa afirmación en cuanto concierne a nuestras relaciones con el ambiente. Un excelente ejemplo del papel de la información, en lo que a esto respecta, lo proporcionó Clerk Maxwell con su "demonio", que podemos describir de la manera siguiente.

Supongamos que tenemos un recipiente lleno de un gas cuya temperatura es uniforme. Algunas moléculas se moverán con mayor velocidad que otras. Supongamos además que existe una puerta, por donde pasa el gas a una tubería que conduce a una máquina térmica; después de atravesar ésta, el gas vuelve al recipiente a través de otra puerta. En cada una de ellas, se encuentra un diminuto ser capaz de vigilar las moléculas que llegan y de abrir o cerrar el paso, según la velocidad que poseen.

El demonio de la primera la abre sólo a las moléculas de alta velocidad y la cierra a las que la tienen baja. El de la

segunda hace exactamente lo contrario: la abre para las de baja y la cierra para las de alta velocidad. Así resulta que la temperatura aumenta en un extremo y desciende en el otro creando un movimiento continuo de "segunda clase", es decir, un movimiento continuo que no viola la primera ley de la termodinámica (según la cual, la cantidad de energía de un sistema dado es constante), pero que infringe la segunda (según la cual, la temperatura tiende espontáneamente a disminuir). En otras palabras, el demonio de Maxwell parece superar la tendencia de la entropía a aumentar.

Tal vez es posible aclarar aun más esta idea considerando una multitud que pase a través de dos torniquetes: uno de los cuales deja pasar la gente sólo si se mueve a una cierta velocidad y el otro sólo si avanzan lentamente. El movimiento arbitrario de la muchedumbre conducirá a que exista una corriente de gentes veloces que pasan por el primer torniquete, mientras que el segundo estará abierto sólo para los que avanzan lentamente. Si los dos estuviesen unidos por un pasaje provisto de una puerta giratoria, las personas que se mueven velozmente producirán una tendencia mayor a que ella gire en dirección contraria a la de las lentas, con lo que tendríamos una fuente de energía basada en los movimientos fortuitos de la multitud.

Aquí aparece una diferencia muy interesante entre la física de nuestros abuelos y la actual. En la del siglo XIX parecía que no costaba nada conseguir información. De ahí resulta que no hay nada en la física de Maxwell que impida a su demonio obtener su propia energía. Por el contrario, la moderna reconoce que el demonio sólo puede informarse acerca de si debe abrir o cerrar la puerta mediante un órgano sensorial que, para este propósito, es un ojo. La luz que incide en el ojo del demonio no es un suplemento carente de energía del movimiento mecánico, sino que comparte las principales propiedades de este último. La luz no puede ser recibida por ningún instrumento a menos que incida en él y tampoco puede indicar la posición de una partícula cualquiera si no cae sobre ella. Esto significa que ni siquiera desde el punto de vista puramente mecánico

podemos considerar el recipiente como exclusivamente compuesto de gas, sino como gas y luz que pueden estar o no en equilibrio. Si ocurre lo primero puede demostrarse, de acuerdo a las teorías físicas actuales, que el demonio de Maxwell será tan ciego como si se encontrase en la obscuridad más absoluta. Tendríamos rayos de luz en todas direcciones, lo que no nos proporcionaría ninguna indicación acerca de la posición y la velocidad de cada partícula. En consecuencia, el demonio de Maxwell sólo podrá actuar en un sistema que no esté en equilibrio. Sin embargo, en ese caso la colisión constante entre la luz y las partículas de gas tiende a colocar ambas en un estado de equilibrio. Así, pues, aunque el demonio puede invertir temporalmente la dirección de la entropía, a la larga también quedará agotado.

El demonio de Maxwell puede actuar indefinidamente sólo si llega luz adicional al sistema desde una fuente fuera de él y que no corresponda, desde el punto de vista térmico, a la temperatura mecánica de las partículas del gas. Es esa una situación que debería sernos perfectamente familiar, pues vemos el universo que nos rodea mediante la luz del sol, que está muy lejos de encontrarse en equilibrio con los sistemas mecánicos de la tierra. Hablando con propiedad, comparamos partículas que se encuentran a una temperatura de 20° centígrados con una luz que proviene del sol a muchos miles de grados.

En un sistema que no se encuentra en equilibrio o en una parte del mismo, la entropía no aumenta necesariamente. En efecto, puede disminuir localmente. Tal vez esta carencia de equilibrio en el mundo que nos rodea es simplemente una etapa en la cuesta abajo que conducirá finalmente al equilibrio. Más pronto o más tarde, moriremos y es altamente probable que todo el universo fenecerá de frío, en cuyo caso, quedará reducido a la uniformidad térmica en la cual nada nuevo ocurrirá. Sólo existirá una gris monotonía, de la que sólo podremos esperar fluctuaciones locales insignificantes.

Pero todavía no somos los espectadores de las últimas escenas de la muerte del cosmos. Efectivamente, nadie asistirá a

esas etapas finales. En consecuencia, en el mundo que nos preocupa más directamente hay estados que aunque ocupan sólo una insignificante fracción de la eternidad, poseen un gran significado para nosotros, pues en ellos la entropía no aumenta y se elabora una organización, así como su correlativo, las informaciones.

Lo que he dicho de esos islotes de mayor organización no se limita exclusivamente a la que tienen los seres vivos. Las máquinas contribuyen también a la elaboración local y temporal de las informaciones, a pesar de ser su organización grosera e imperfecta comparada con la nuestra.

Es necesario intercalar aquí una observación semántica; voces tales como vida, propósito y alma son groseramente inadecuadas para el exacto pensar científico. Esas palabras han adquirido su significado al reconocer nosotros la unidad de un cierto grupo de fenómenos, aunque, efectivamente, no nos proporcionen una base adecuada para caracterizar la tal unidad. En cuanto aparece un fenómeno nuevo que, en cierta medida, participa de la naturaleza de los que hemos dado en llamar vivientes, pero que no posee todos los otros aspectos asociados que incluye la voz "vida", nos encontramos con el problema de ampliar el sentido de la palabra para incluir dicho fenómeno o de restringirla para excluirlo. En el pasado, se planteó ese problema al considerar los virus que demuestran poseer algunas de las tendencias de la vida (persistir, multiplicarse, organizarse), pero que no la manifiestan en forma completa. Al observar ahora ciertas analogías entre las máquinas y los organismos vivientes, nos hallamos frente al problema de saber si las máquinas poseen vida; para nuestros propósitos la pregunta es semántica y somos libres de responder de una manera o de otra, como nos convenga.

Si deseamos utilizar la palabra "vida" de tal modo que comprenda todos los fenómenos que localmente nadan contra la corriente de la entropía creciente, somos libres de hacerlo. Sin embargo, incluiríamos entonces muchos fenómenos astronómicos que sólo tienen una remotísima semejanza con ella, tal

como la entendemos corrientemente. En mi opinión, lo mejor es evitar epítetos que son una petición de principios, tales como "vida", "alma", "vitalismo" y otros parecidos; en lo que respecta a las máquinas, diremos simplemente que no hay ninguna razón para que no se asemejen a los seres humanos, pues unas y otros representan bolsones de entropía decreciente, dentro de una estructura en la cual la más amplia entropía tiende a aumentar.

Cuando comparo un organismo viviente con una máquina de esa clase, de ningún modo quiero decir que los fenómenos específicos físicos, químicos o espirituales de la vida, tal como la entendemos corrientemente, son los mismos que los de la máquina que la imita. Quiero decir simplemente que ambos (el ser viviente y la máquina) son ejemplos de fenómenos locales antientrópicos, que pueden aparecer de muchos otros modos que naturalmente no llamaríamos biológicos ni mecánicos.

Aunque es imposible hacer una afirmación universal acerca de los autómatas que imitan lo vital en un campo que se extiende tan rápidamente como el de la automatización, quisiera insistir en algunos rasgos generales de estas máquinas tales como existen actualmente. Uno de ellos es que deben efectuar una tarea o tareas definidas y, en consecuencia, deben poseer órganos de acción (análogos a las manos y piernas de los seres humanos) para llevarlas a cabo. El segundo es que deben estar en relación con el mundo exterior mediante órganos sensoriales, tales como células fotoeléctricas o termómetros, que no sólo les advierten acerca de las circunstancias que las rodean, sino que además las hacen capaces de recordar la ejecución (o la no ejecución) de la labor encomendada. Como ya lo hemos visto, esta última función se llama retroalimentación, o sea la propiedad de ajustar la conducta futura a hechos pasados. Puede ser tan simple como la de un reflejo común o de orden superior de tal modo que la experiencia anterior se utiliza, no sólo para regular movimientos específicos, sino para determinar un completo plan de conducta. Un sistema de esa clase puede tener el

aspecto de ser lo que, desde un punto de vista, llamamos reflejo condicionado y desde otro, aprendizaje.

Para todas esas formas de conducta y particularmente para las más complicadas, deben tener las máquinas órganos centrales de decisión que determinen lo que han de hacer en un momento dado según la información que la retroalimentación les ha proporcionado y que ellas acumulan mediante mecanismos análogos a la memoria de un organismo viviente.

Es fácil construir una máquina simple que se acerque a la luz o se aleje de ella; si poseen luces propias, un cierto número de estas máquinas reunidas mostrarán complicadas formas de comportamiento social, como las que ha descrito el doctor Grey Walter en su libro *El cerebro viviente.* Por el momento, las más complicadas máquinas de ese tipo son sólo juguetes científicos que permiten explorar las posibilidades de la máquina y su análogo: el sistema nervioso. Pero hay razones para creer que la tecnología, en rápido avance, utilizará en un futuro próximo algunas de sus posibilidades.

Así, entre el sistema nervioso y la máquina automática existe una analogía fundamental, pues son dispositivos que toman decisiones basándose en otras que hicieron en el pasado. Los más simples eligen entre dos posibilidades tales como abrir o cerrar una llave. En el sistema nervioso, cada fibra decide trasmitir un impulso o no. Tanto en la máquina como en el nervio, existe un aparato específico para tomar decisiones en el futuro de acuerdo con las pasadas; en el sistema nervioso gran parte de esa tarea se efectúa en puntos de organización extremadamente complicada llamados sinapses, donde un cierto número de fibras entrantes están conectadas con una sola saliente. En muchos casos, puede entenderse la base de esas decisiones como un umbral de acción del sinapse o, en otras palabras, indicando cuántas fibras de entrada han de funcionar para que funcione a su vez la de salida.

Esto es la base, por lo menos, de una parte de la analogía entre máquinas y organismos. El sinapse de estos últimos corresponde a las llaves de conmutación de la máquina. Para con-

siderar más detalladamente la relación entre las máquinas y los organismos vivientes, consúltense los libros, altamente sugestivos, de los doctores Walter y Ross Ashby. [1]

Como ya he dicho, la máquina y el organismo viviente son dispositivos que local y temporalmente parecen resistir a la tendencia general de aumento de la entropía. Mediante su capacidad de tomar decisiones, pueden producir a su alrededor una zona local de organización en un mundo cuya tendencia general es la contraria.

El hombre de ciencia trabaja continuamente para descubrir el orden y la organización en el universo, por lo que juega una partida contra su archienemigo: la desorganización. ¿Es un diablo maniqueo o agustiniano? ¿Es una fuerza opuesta al orden o es la completa carencia de él? La diferencia entre estas dos clases de demonios aparecerá en las tácticas utilizadas contra ellos. El diablo maniqueo es un opositor como cualquier otro que está decidido a ganar y que utilizará cualquier engaño o simulación para triunfar. En particular, mantendrá en secreto su método de confusión; si pareciera que estamos a punto de descubrir su juego, lo cambiará para seguir manteniéndonos en la obscuridad. En cambio, el diablo agustiniano, que no es una potencia en sí mismo, sino la medida de nuestra propia debilidad, requerirá el uso de todas nuestras fuerzas para descubrirlo, pero cuando lo hayamos conseguido, ello equivaldrá a exorcizarlo y no cambiará sus métodos en materia ya decidida con la simple intención de engañarnos más. El diablo maniqueo juega una partida de póquer contra nosotros y recurrirá con gusto al *bluff,* que, como explica Von Neumann en su *Teoría de los juegos,* no sólo trata de hacernos ganar con el engaño, sino además impedir un triunfo de la otra parte, basándose en el supuesto de que no hemos de mentir.

Comparado con este ser maniqueo de malicia refinada, el diablo agustiniano es tonto. Juega una partida difícil, pero

[1] W. Ross Ashby, *Design for a Brain,* Wiley, Nueva York; 1952; W. Grey Walter, *The Living Brain,* Norton, Nueva York, 1953.

nuestra inteligencia triunfará sobre él de modo tan completo como con una aspersión de agua bendita .

En lo que respecta a la naturaleza del diablo, existe un aforismo de Einstein que es algo más que eso; representa en verdad una afirmación acerca de los fundamentos de la ciencia. "El Señor es sutil, pero no es malvado." La voz señor indica aquí aquellas fuerzas de la naturaleza que incluyen las atribuidas a su humilde servidor, el diablo; Einstein quiere decir que esas fuerzas no mienten. Tal vez, en cuanto al sentido, este diablo no está muy lejos de Mefistófeles que, cuando Fausto le pregunta, responde: "Soy parte de esa fuerza que siempre busca el mal y hace el bien." En otras palabras, la habilidad del diablo para engañarnos no es ilimitada; pierde su tiempo el hombre de ciencia que busca en el universo una fuerza positiva decidida a engañarnos. La naturaleza se resiste a ser descifrada, pero no demuestra su ingeniosidad en descubrir nuevos e inescrutables métodos para perturbar nuestras relaciones con el mundo exterior.

La distinción entre la resistencia pasiva de la naturaleza y la activa de un opositor sugiere una diferencia entre el investigador científico y el guerrero o el jugador. El primero dispone de muchísimo tiempo para llevar a cabo sus experimentos, sin temer que la naturaleza descubra algún día sus trucos, sus métodos, y cambie de táctica. En consecuencia, su obra está dominada por sus mejores momentos, mientras que un jugador de ajedrez no puede cometer un error sin encontrar un adversario despierto, pronto para aprovecharse de la situación y derrotarlo. Así, el jugador de ajedrez está gobernado por sus peores momentos y no por los mejores. Es posible que haya algo de *parti pris* acerca de esta afirmación, pues encuentro que me ha sido posible hacer algo efectivo en la ciencia, mientras que mis partidas de ajedrez han padecido siempre de mi carencia de cuidado en los momentos críticos.

Por ello, el hombre de ciencia está dispuesto a considerar a su oponente como un enemigo honrado. Esa actitud es necesaria para que sea efectiva su obra como investigador, pero

tiende a convertirlo en una víctima de la gente sin principios en la guerra y en la política. Conduce además a que sea difícil que le entienda el público en general, pues éste está más interesado en los antagonismos personales que en la naturaleza como antagonista.

Estamos sometidos a una vida tal que el mundo en su totalidad obedece a la segunda ley de la termodinámica: la confusión aumenta y el orden disminuye. Pero, como ya hemos visto, aunque la segunda ley de la termodinámica puede ser un enunciado válido respecto a la totalidad de un sistema cerrado, es decididamente errónea en cuanto a una parte no aislada de él Hay islas, locales y temporales, de entropía decreciente, en un medio en el cual la entropía tiende a aumentar; la existencia de esas islas induce a algunos de nosotros a asegurar la existencia del progreso. ¿Qué podemos decir acerca de la batalla entre él y la entropía creciente en el mundo que nos rodea?

Como todos sabemos, la Ilustración fomentó la idea de progreso, aunque algunos hombres del siglo XVIII creyeron que sería cada vez más difícil pasar a una etapa superior y que la Edad de Oro de la sociedad no sería muy distinta de aquella en la que ellos mismos vivían. La Revolución Francesa condujo a que aparecieran fallas en el edificio de la Ilustración, acompañadas de dudas en otras partes. Por ejemplo: Malthus creía que la cultura de su tiempo estaba a punto de hundirse en un aumento desordenado de la población que se tragaría todo lo que la humanidad había ganado hasta entonces.

Es clara la línea de Darwin a Malthus. La gran innovación que aportó el primero a la teoría de la evolución consistió en concebirla, no a la manera de Lamarck, como un ascenso espontáneo hacia formas más altas y mejores, sino como un fenómeno en el cual los seres vivos mostraban: a) una tendencia espontánea a desarrollarse en variadas direcciones y b) otra a seguir el camino de sus antecesores. La combinación de ambos efectos condujo a limitar una naturaleza exuberante y a eliminar los organismos poco aptos para su ambiente, mediante un proceso de selección natural. Esa limitación dejaba un residuo

de formas de vida más o menos bien adaptadas a su medio. Según Darwin ese residuo parece demostrar la existencia de una teleología universal.

El concepto de residuo ha vuelto a aparecer en primer plano en las investigaciones del doctor Ross Ashby. Hace notar que una máquina de estructura algo arbitraria y fortuita tendrá ciertas posiciones próximas al equilibrio y otras lejos de él, y que las primeras, por su propia naturaleza, durarán más tiempo, mientras que las segundas se mostrarán fugazmente. Así resulta que en la máquina de Ashby, como en la naturaleza de Darwin, aparece un propósito en un sistema que no fue construido para que lo tuviera, simplemente por ser transitoria la carencia de finalidad de acuerdo a su misma naturaleza. A la larga, el gran propósito trivial de la entropía máxima parecerá ser el más duradero de todos. Pero en las etapas intermedias un organismo o una sociedad de ellos tenderá a permanecer más tiempo en aquellos modos de actividad en los que las diferentes partes funcionan conjuntamente, según una estructura que tendrá más o menos sentido.

Creo que la brillante idea de Ashby del mecanismo arbitrario sin propósito que busca uno propio mediante un proceso de aprendizaje es no sólo una de las más valiosas contribuciones de nuestra época a la filosofía, sino además algo que conducirá a progresos sumamente útiles en la automatización. No sólo podemos introducir un propósito en las máquinas, sino que, en la inmensa mayoría de los casos, la máquina diseñada para evitar determinadas fallas de funcionamiento buscará por sí misma un propósito que puede llevar a cabo.

La influencia de Darwin sobre la idea del progreso no quedó confinada a lo biológico, ni siquiera durante el siglo XIX. Todos los filósofos y sociólogos elaboran sus ideas científicas con los materiales que proporciona su época. No es sorprendente por ello que Marx y los socialistas contemporáneos suyos tomaran un punto de vista darviniano en lo que respecta a la evolución y al progreso.

En la física, esta idea se opone a la de la entropía, aunque

no existe una contradicción absoluta entre ambas. En lo que respecta a la física en función de la obra de Newton, la información que contribuye al progreso y obra contra el aumento de entropía puede ser aportada por cantidades ínfimas de energía o hasta tal vez sin energía alguna. En nuestro siglo, esa idea ha debido de cambiar por el influjo de lo que se conoce con el nombre de teoría de los quanta.

En lo que importa a nuestros propósitos, ese concepto ha conducido a una nueva asociación entre energía e información. Una forma elemental de esta conjunción ocurre en la teoría del ruido de fondo en una línea telefónica o un amplificador. Puede demostrarse que es inevitable, pues depende del carácter discreto de los electrones que conducen la corriente; sin embargo, es capaz de destruir la información. En consecuencia, el circuito necesita una cierta potencia de comunicación para que su propia energía no se trague el mensaje. De carácter más fundamental que ese ejemplo es la estructura discreta de la luz misma y el que la luz de una cierta frecuencia se irradie en trozos que se llaman quanta de luz, que poseen una determinada energía dependiente de esa frecuencia. Por ello, no puede haber ninguna radiación con menos energía que la de un quanta. El paso de información no puede ocurrir sin gastar una cierta cantidad de energía, por lo que no existe una distinción neta entre un acoplamiento energético y otro informativo. Sin embargo, para los propósitos prácticos, un quanta es muy poca cosa y la cantidad de energía necesaria para un acoplamiento informativo lo es también. De ahí se sigue que, al considerar un fenómeno local como el desarrollo de un árbol o de un hombre, que depende directa o indirectamente de la radiación solar, un decrecimiento local enorme de la entropía puede corresponder a una transferencia de energía bastante moderada. Este es uno de los hechos fundamentales de la biología, en particular, de la teoría de la fotosíntesis o sea del proceso químico por el cual la planta utiliza los rayos solares para formar carbohidratos y otros complicados productos químicos necesarios para la vida, aprovechando el agua y el anhidrido carbónico del aire.

Así, pues, la cuestión de interpretar la segunda ley de la termodinámica en forma pesimista o no depende de la importancia que concedamos, por una parte, al universo en general y, por otra, a las islas de decrecimiento entrópico que encontramos en él. Recordemos que cada uno de nosotros es una de esas islas y que vivimos entre ellas. De ahí resulta que la diferente perspectiva normal conduce a conceder mayor importancia a las regiones de entropía decreciente que al universo en general. Por ejemplo: puede muy bien ocurrir que la vida sea un fenómeno raro en el universo, limitado tal vez a nuestro sistema solar o sólo a la tierra, si consideramos únicamente la vida cuyo nivel sea comparable al nuestro. Sin embargo, vivimos en este planeta y la carencia de vida en otra parte del universo no nos preocupa gran cosa; ciertamente, nuestra desazón por ese problema no es proporcional a las colosales dimensiones del resto del universo.

Por otra parte es posible imaginarse que la vida sólo se extiende por un lapso muy corto; no existía antes de las más primitivas etapas geológicas y puede ocurrir que alguna vez la tierra esté nuevamente despoblada, por decirlo así, convertida en cenizas o en un planeta helado. Al darnos cuenta del limitado margen de condiciones físicas en las cuales pueden ocurrir las reacciones necesarias para la vida tal como la conocemos, comprendemos que ese feliz accidente que permite la continuación de la vida, aun sin restringirla hasta comprender casi exclusivamente los seres humanos, debe tener un fin completo y desastroso. Sin embargo, quizás tengamos éxito y podamos organizar nuestros sistemas de valores de tal modo que este precario accidente, la vida, y el otro aun más transitorio, la vida del hombre, puedan considerarse como valores positivos de importancia suma, a pesar de su carácter fugaz.

En un sentido muy real, somos pasajeros náufragos a la deriva en un planeta condenado. Pero aun en una catástrofe marítima, el honor y los valores humanos no desaparecen; debemos aprovecharlos hasta el máximo. Pereceremos, pero hagámoslo de un modo que podamos considerar digno de nosotros.

Hasta ahora hemos hablado de un pesimismo que se parece más al intelectual del hombre de ciencia que al emocional propio del profano. Ya hemos visto que la entropía y las consideraciones acerca de la muerte térmica definitiva del universo no necesitan tener consecuencias morales tan profundamente deprimentes como las que parecen a primera vista. Pero hasta esa limitada consideración del futuro es ajena a la euforia emocional del hombre medio y en particular del ciudadano corriente de los Estados Unidos. Lo mejor que podemos esperar para el papel del progreso en un universo que en su totalidad va hacia abajo es que la visión de nuestras tentativas para progresar frente a la opresora necesidad tenga el terror depurativo de la tragedia griega. Sin embargo, no vivimos en una edad excesivamente sensible a lo trágico.

La educación del ciudadano corriente norteamericano en la parte superior de la clase media está calculada para protegerle solícitamente contra la conciencia de la muerte y la condenación. Se le educa en una atmósfera de Santa Claus; cuando se entera de que es un mito, llora amargamente. Nunca acepta enteramente la ausencia de esa divinidad en su panteón y emplea gran parte de su vida en buscar algún sustitutivo emocional.

La muerte del individuo, la inminencia de las calamidades, son hechos que le enseña la experiencia de sus años posteriores. Sin embargo, intenta dar a esas desdichadas realidades el carácter de accidentes y construir en la tierra un cielo en el que no hay lugar para lo desagradable. El paraíso consiste para él en el progreso eterno y en un ascenso continuo hacia cosas mejores y mayores.

Desde dos diversos puntos de vista puede discutirse nuestra adoración del progreso: un método de *facto* y otro ético, es decir, el que proporciona normas para aprobar o desaprobar. De *facto,* resulta que los primitivos progresos de la geografía, cuya iniciación corresponde a la aurora de los tiempos modernos, han de continuar en un período indefinido de invenciones, de descubrimientos de nuevas técnicas, de regulación del am-

biente en el que vive el hombre. Los que creen en el progreso aseguran que esto continurá, sin que aparezca ningún término visible en un futuro que no sea demasiado remoto para la contemplación humana. Los que consideran el progreso como un principio ético estiman que esos cambios ilimitados y casi espontáneos son lo Bueno y la base sobre la que se puede asegurar a las futuras generaciones el paraíso en la tierra. Es posible creer en el progreso como un hecho sin tenerlo por un principio ético, pero en el catecismo de muchos ciudadanos de los Estados Unidos lo uno va junto con lo otro.

La mayoría de nosotros estamos demasiado próximos a la idea del progreso para darnos cuenta de dos hechos. Por un lado, esa idea aparece sólo en un período muy corto de la historia; por otra parte, representa una ruptura total con nuestras tradiciones y las creencias religiosas que profesamos. Para los católicos, los protestantes o los judíos el mundo no es un lugar *bueno* en el que puede esperarse una felicidad duradera. La Iglesia retribuye la virtud, no con alguna moneda aceptada por los reyes de la tierra, sino con una letra sobre el cielo.

En lo esencial, el calvinista acepta eso también, agregando un tono sombrío, pues, según su doctrina, son pocos los elegidos del Señor que pasarán la terrible prueba del día del juicio y además estos pocos serán determinados por las discrecionales decisiones del Supremo Juez. No sirven de lo más mínimo ni la virtud ni la rectitud para asegurar la salvación. Más de un varón justo será condenado. Los calvinistas no esperan en la tierra aquel estado de beatitud del cual no están seguros ni siquiera en el cielo.

Los profetas hebreos están muy lejos de ser optimistas en lo que respecta al futuro de la humanidad o de su propio Israel el pueblo elegido; la historia de Job que podría llamarse un auto sacramental, no proporciona ninguna seguridad de que el desenlace relativamente feliz ocurrirá excepto por la arbitrariedad de Dios, aunque es una gran victoria del espíritu y el Señor se digna devolver al protagonista sus rebaños, sus siervos y sus esposas.

El comunista, como el creyente en el progreso, espera el paraíso en la tierra, en vez de una recompensa personal que se le concederá en una existencia *post mortem*. Pero supone que eso no se producirá sin lucha. Es tan escéptico respecto a los panes de azúcar del futuro como respecto a las rosquillas celestiales. Tampoco el Islam, voz árabe que significa resignación a la voluntad de Dios, deja muy abiertas las puertas a la idea del progreso. No necesito decir mucho acerca del budismo, con su esperanza del nirvana y de escapar a la rueda de las encarnaciones; se opone inexorablemente a la idea del progreso y lo mismo puede decirse de las religiones de la India emparentadas con él.

Además de esa cómoda creencia pasiva en el progreso que muchos ciudadanos de los Estados Unidos compartían a fines del siglo XIX, existe otra que parece tener un tono más masculino y vigoroso. Para el ciudadano medio de ese país, significaba la conquista del Oeste, la anarquía económica de la frontera y la prosa vigorosa de Owen Wister y Teodoro Roosevelt. Naturalmente, desde el punto de vista histórico, la frontera es un fenómeno perfectamente auténtico. Durante muchos años, el desarrollo de los Estados Unidos ocurrió en un escenario cuyo fondo eran las tierras vacías que se encontraban hacia el Oeste. Sin embargo, muchos de los que se pusieron poéticos respecto a esa frontera, admiraron el pasado. Ya en 1890 el censo reconoce que han terminado las verdaderas condiciones del caso. Se establecieron claramente los límites geográficos de los grandes recursos por consumir y por evaluar.

Es difícil para el hombre medio alcanzar una perspectiva histórica tal que el progreso aparezca en sus propias dimensiones. El mosquete que se utilizó durante la Guerra Civil era sólo un modesto avance sobre el que se usó en Waterloo y éste era casi equivalente al de los soldados de Marlborough en los Países Bajos. Sin embargo, las armas manuales de fuego existen desde el siglo XV o antes y los cañones son anteriores en un siglo. Es dudoso que el mosquete de ánima lisa excediera en alcance al mejor arco y es cierto que nunca lo igualó en exactitud ni

en velocidad de tiro. Sin embargo, el arco es una invención de la edad de piedra que no ha experimentado ningún perfeccionamiento.

Aunque la construcción naval no ha quedado completamente estacionada, el barco de madera, antes que abandonara definitivamente los mares, era una estructura que, en lo esencial, había permanecido invariable desde principios del siglo XVII y que ya entonces tenía una genealogía de muchos siglos. Cualquier marinero de Colón hubiera sido un valioso colaborador en los barcos de Farragut. Aun uno de los que condujo a San Pablo a Malta se hubiera encontrado en su casa en una de las barcas de Joseph Conrad. Un ganadero romano de las fronteras de la Dacia podría ser un *vaquero* competente para llevar ganados de cuernos largos desde las llanuras de Texas hasta la estación de ferrocarril, aunque se asombraría mucho al ver lo que hay allí. El administrador de las tierras de un templo babilónico no habría necesitado ninguna instrucción especial para llevar la contabilidad o manejar los esclavos de una plantación del sur de los Estados Unidos. El período durante el cual la mayoría de los hombres ha estado sometida a repetidos y revolucionarios cambios no empezó hasta el Renacimiento y la era de los grandes viajes, y no adquirió la velocidad que ahora consideramos natural hasta bien avanzado el siglo XIX.

Es inútil buscar en la historia primitiva algo paralelo a inventos tales como la máquina y la navegación a vapor, la locomotora, los métodos modernos de obtención de metales, el telégrafo, el cable transoceánico, la introducción de la electricidad, la dinamita, los proyectiles de explosivos de alta potencia, el aeroplano, la válvula termoiónica y la bomba atómica. Los descubrimientos metalúrgicos que anuncian la edad de bronce no se acumulan de tal manera en lo temporal, ni son tan diversos, como para poder establecer una analogía. Está muy bien que el economista que se ocupa de los tiempos clásicos nos asegure suavemente que son simples cambios de grado, incapaces de invalidar un paralelismo histórico. La diferencia entre una dosis terapéutica de estricnina y otra mortal es también sólo de grado.

Tanto la historia como la sociología, en cuanto ciencias, se basan en la idea según la cual, los diversos casos especiales tratados tienen una semejanza suficiente para que los mecanismos sociales de un período sean aplicables en otro. Sin embargo, es cierto que toda la escala de los fenómenos ha cambiado tanto desde el principio de la era moderna que se excluye cualquier aplicación fácil a nuestra época de los criterios políticos, sociales y económicos derivados de otras. Es casi evidente en el mismo grado que el período moderno, iniciado por la época de los descubrimientos, es altamente heterogéneo.

En la época de los grandes viajes, Europa comprendió por primera vez que existían enormes superficies débilmente colonizadas, capaces de absorber una población mucho mayor que la del mismo antiguo continente, llenas de recursos inexplorados, que poseían, no sólo oro y plata, sino además otras muchas materias primas. Esas riquezas parecían inagotables; juzgando con los criterios de la sociedad europea del 1500, se creía muy remoto su agotamiento o que se llegase al punto de saturación de las nuevas tierras. Cuatro siglos y medio es mucho más de lo que la mayoría de las personas están dispuestas a considerar cuando encaran el futuro.

Sin embargo, la existencia de esas regiones indujo a adoptar una actitud no muy distinta de la del té de "Alicia en el país de las maravillas". Si en un asiento se terminaba la infusión y los pasteles, el sombrerero y la liebre ocupaban el más próximo. Cuando Alicia preguntó qué harían al volver al lugar primitivo, la liebre cambió de conversación. Esa política pareció muy sensata para los que creían que la historia no iba más allá de los últimos cinco mil años y esperaban el milenio y el día del juicio final en un plazo mucho más corto. Al pasar el tiempo, ha resultado que la mesa de té de las Américas no es inagotable; de hecho, la velocidad con que se ha abandonado un asiento para ocupar el próximo ha ido aumentando probablemente cada vez más de prisa.

Lo que la mayoría de nosotros no comprende es que los últimos cuatro siglos son un período sumamente peculiar de la

historia del mundo. La velocidad de esos cambios, así como su misma naturaleza, carece de paralelo en la historia. En parte, ello proviene del incremento de las comunicaciones y además de un creciente dominio de la naturaleza que, en un planeta de recursos limitados como la tierra, puede convertirse a la larga en una esclavitud creciente del hombre frente a ella. Pues cuanto más sacamos menos queda y a la larga habremos de pagar nuestras deudas cuando ello sea sumamente inconveniente para nuestra supervivencia. Somos los esclavos de nuestro progreso técnico y es tan imposible volver a una granja de New Hampshire, viviendo en ella de acuerdo con los métodos autárquicos de 1800, como, por el pensamiento, aumentar nuestra estatura en un codo o conseguir que disminuya en la misma medida, lo que es un ejemplo más adecuado. Hemos modificado tan radicalmente nuestro ambiente que ahora debemos cambiar nosotros mismos para poder existir en ese nuevo medio. Es imposible vivir en el antiguo. El progreso proporciona nuevas posibilidades para el futuro, pero también impone nuevas restricciones. Parecería que el mismo progreso y nuestra lucha contra el aumento de la entropía deben conducir necesariamente al camino que lleva hacia abajo, del que tratamos de escapar. Pero este pesimismo resulta sólo de nuestra ceguera y de nuestra inactividad, pues creo que, en cuanto comprendamos las nuevas necesidades que el ambiente moderno nos obliga a tener en cuenta, así como los métodos actuales de que disponemos para satisfacerlas, pasará mucho tiempo antes de que perezcan nuestra civilización y nuestra especie, si bien ambas han de fenecer, así como cada uno de nosotros nace para morir. Sin embargo, la perspectiva de la muerte está lejos de ser un completo fracaso de la vida y eso es igualmente cierto para la civilización y para la especie humana, así como para cualquiera de los individuos que la componen. Tengamos el coraje de encarar el final definitivo de nuestra civilización, como tenemos el valor de considerar la certidumbre de nuestra propia muerte. La simple fe en el progreso no es convicción que corresponda a la fuerza, sino a la complacencia y, de ahí, a la debilidad.

III

RIGIDEZ Y APRENDIZAJE: DOS FORMAS DE CONDUCTA COMUNICATIVA

Como ya hemos visto, ciertas clases de máquinas y algunos organismos vivientes, particularmente los superiores pueden modificar sus modos de conducta, basándose en la experiencia anterior, para obtener fines específicos antientrópicos. En esas clases superiores de organismos capaces de comunicarse, el ambiente, considerado como la experiencia pasada del individuo, puede modificar la forma de conducta, transformándola de tal manera que, en un sentido u otro, actúe de manera más efectiva sobre el medio futuro. En otras palabras, el organismo no se parece al mecanismo de relojería de las mónadas leibnitzianas y su armonía preestablecida con el universo, sino que realmente busca un nuevo equilibrio con él y sus contingencias futuras. Su presente es distinto de su pasado y de su futuro. En el organismo viviente, así como en el universo, la repetición exacta es absolutamente imposible.

Las investigaciones del doctor W. Ross Ashby son probablemente la más importante contribución moderna a este tema, en cuanto se refiere a las analogías entre los organismos vivientes y las máquinas. El aprendizaje, como otras formas más primitivas de retroalimentación, es un fenómeno distinto, según se le considere temporalmente hacia atrás o hacia adelante. Todo el concepto del organismo aparentemente dirigido a un fin, sea mecánico, biológico o social, es análogo al de una flecha con una dirección particular en el flujo del tiempo y no

a un segmento lineal que parece marchar en ambas direcciones. La criatura que aprende no es la anfisbena mitológica de los antiguos, con una cabeza en cada extremo y que no se preocupa de la dirección de su marcha. Se mueve hacia adelante, desde un pasado conocido hacia un futuro ignoto que no es intercambiable con aquél.

Permítaseme dar otro ejemplo de retroalimentación que aclarará su función respecto al aprendizaje. Cuando se utilizan los tableros de las esclusas del Canal de Panamá, son centros de recepción y trasmisión de mensajes. Salen los que regulan el movimiento de las locomotoras de arrastre de los barcos, el funcionamiento y detención de las bombas, la apertura y cierre de las compuertas; pero el tablero está lleno de aparatos que indican la recepción y ejecución de esas órdenes por los mecanismos en cuestión. Si no fuera así, el encargado de la esclusa podría suponer fácilmente que se ha detenido la locomotora de arrastre y lanzar la enorme masa de un barco de guerra contra las compuertas o producir cualquier catástrofe similar.

Este principio de regulación se aplica no sólo a las esclusas del Canal de Panamá, sino además a los Estados, los ejércitos y los individuos. Durante la guerra de la Independencia de los Estados Unidos, por un descuido, no salió de Inglaterra la orden a un cuerpo de ejército inglés de marchar desde Canadá hacia el sur, para encontrarse con otro de la misma nacionalidad que salió de Nueva York para Saratoga, con lo que las fuerzas de Burgoyne sufrieron una aplastante derrota, evitable mediante un sistema de comunicaciones que funcionase en ambos sentidos. Se sigue de ahí que el personal administrativo de un Estado, de una universidad o de una corporación debe tomar parte en un sistema de comunicaciones que vaya de arriba hacia abajo e inversamente. De otra manera, los funcionarios más altos pueden encontrarse con que han basado sus decisiones en un completo desconocimiento de las informaciones que poseen sus subalternos. No existe una tarea más dura que la del conferencista que habla a un grupo de personas insensibles. El propósito del aplauso en el teatro es esencial y consiste en establecer en la

mente del actor un mínimo de comunicación en ambos sentidos.

Esta teoría de la retroalimentación en los grupos humanos tiene un enorme interés sociológico y antropológico. Existen comunidades como las de los esquimales, entre los que no parece haber jefes ni mucha subordinación, por lo que la base de la comunidad es simplemente el deseo común de sobrevivir contra el clima y la escasez del alimento. Hay grupos socialmente estratificados, como los que se encuentran en la India, en los cuales los medios de comunicación entre dos personas están severamente restringidos y modificados por sus antepasados y su posición. Hay otros gobernados por déspotas, en los que toda relación entre dos súbditos es secundaria respecto a la que rige entre cada uno de ellos y su rey. Y hay grupos jerárquicos feudales de señor y vasallo, con las especialísimas técnicas de comunicación que presuponen.

La mayoría de nosotros, en los Estados Unidos, preferimos vivir en una comunidad moderadamente suelta, en la que no sean muy grandes los impedimentos para las comunicaciones entre los individuos y las clases. No diré que ese ideal se alcance entre nosotros. Hasta tanto la supremacía del hombre blanco deje de ser parte del credo de numerosos sectores de la población, será un ideal del que nos encontraremos lejos. Sin embargo, esa democracia modificada e informe es demasiado anárquica para muchos de aquellos que convierten la eficacia en su ideal principal. Esos adoradores de los resultados efectivos quisieran que cada uno se moviera en una órbita fijada desde su niñez y que efectuara una tarea a la que estuviera atado como el siervo a la gleba. Dentro del cuadro de la vida social de los Estados Unidos es una vergüenza tener semejantes deseos y esa negación de una oportunidad que implica el incierto futuro. Muchos de los que se sienten atraídos por esa ordenación de funciones atribuidas permanentemente, se avergonzarían si hubieran de confesarlo en público. Su posición sólo les permite mostrar sus claras preferencias mediante sus acciones, aunque éstas son bastante evidentes. El hombre de negocios que se separa de sus empleados mediante un muro de adu-

ladores o el jefe de un gran laboratorio que asigna a cada uno de sus subordinados un problema particular y les niega el privilegio de pensar por sí mismos, impidiéndoles que puedan avanzar más allá de su problema inmediato y percibir el cuadro general, demuestran que la democracia, ostensiblemente respetada por ellos, no es realmente el orden social en el que preferirían vivir. La situación regularmente ordenada de funciones preasignadas hacia la que tienden recuerda los autómatas de Leibnitz, no el movimiento irreversible hacia un futuro contingente que es la verdadera condición de la vida humana.

En una comunidad de hormigas, cada trabajador ejecuta una tarea que le es propia. Puede existir una casta separada de guerreros. Ciertos individuos altamente especializados desempeñan las funciones de rey y reina. Si el hombre aceptara eso como modelo, viviría en un estado fascista en el cual idealmente cada individuo está condicionado desde el nacimiento para una tarea que le es propia, en la que los gobernantes lo son a perpetuidad, los soldados lo son toda la vida, el aldeano nunca deja de serlo y el trabajador está condenado a su profesión.

Una tesis de este capítulo es que esa aspiración de los fascistas por un Estado según el modelo de las hormigas proviene de un profundo desconocimiento tanto de la naturaleza de ese insecto como de la del hombre. Deseo insistir en que el desarrollo físico de la hormiga la conduce a ser un individuo esencialmente estúpido e incapaz de aprender, vaciado en un molde que no puede cambiar mucho. Deseo demostrar además que esas condiciones fisiológicas la convierten también en un artículo barato de producción en masa, sin más valor individual que un plato de cartón arrojado a la basura después de haberlo utilizado. Por otra parte, deseo demostrar que el ser humano, capaz de un amplio aprendizaje y estudio, que puede ocupar casi la mitad de su vida, está equipado físicamente para sus capacidades como lo está la hormiga. La variedad y la posibilidad son inherentes al sensorio humano y, de hecho, la clave de los más nobles vuelos del espíritu, pues ambas pertenecen a la estructura misma del organismo del hombre.

Aunque es posible desperdiciar las enormes ventajas que tenemos sobre las hormigas y organizar el estado fascista a la manera de ellas, creo ciertamente que eso equivale a una degradación de la naturaleza del hombre y económicamente a un gasto inútil de grandes valores humanos.

Estoy convencido de que una comunidad de hombres y mujeres es mucho más útil que otra de hormigas y de que, si se condena y restringe a un hombre a efectuar una y otra vez las mismas tareas, no será una buena hormiga, para no hablar de un buen ser humano. Los que desean organizarnos según funciones individuales permanentes y restricciones personales, igualmente perpetuas, condenan a la especie a marchar a mucho menos de media velocidad. Desperdician casi todas las posibilidades humanas y, al limitar los modos posibles de adaptación a contingencias futuras, reducen nuestra posibilidad de una existencia razonablemente larga en la tierra.

Volvamos ahora a considerar las restricciones de la estructura de la hormiga que han convertido a su comunidad en algo tan especial. Estas restricciones tienen un origen profundo en la anatomía y la fisiología de cada insecto. Tanto éstos como el hombre son seres que respiran aire y representan la etapa final del paso de la vida fácil y cómoda de los animales marinos a las exigencias más severas de la terrestre. Esta transición del agua a la tierra, siempre que ha ocurrido, ha supuesto mejoras radicales en la respiración, la circulación en general, la estructura mecánica del organismo y los órganos sensoriales.

El refuerzo mecánico de los cuerpos de los animales terrestres ha ocurrido siguiendo líneas independientes. En la mayoría de los moluscos, así como en otros grupos, no emparentados con ellos, pero que han adquirido una forma similar, parte de la superficie externa segrega una masa no viva de tejido calcáreo: la concha, que aumenta por acreción desde una etapa primitiva hasta la muerte del animal. La forma en espiral o en hélice de esos grupos no necesita explicación distinta de este proceso de agregación.

Si la concha ha de seguir siendo una protección adecuada

para el animal y éste aumenta mucho de tamaño, en sus etapas finales se convierte en una carga apreciable, adecuada tan sólo para los animales terrestres que se mueven lentamente y llevan una vida poco activa, como el caracol. En otros animales es menos pesada, es más liviana, pero ofrece menos protección; así, pues, por ser una carga excesiva, desde el punto de vista mecánico, ha tenido sólo un éxito muy limitado entre los animales terrestres.

El hombre representa otra dirección evolutiva que se encuentra en todos los vertebrados y cuyas bases existen en invertebrados de tan fino desarrollo como el pulpo y los cangrejos marinos del género *limulus*. En todos ellos, ciertas partes del tejido conjuntivo adquieren una consistencia que ya no es fibrosa, sino que corresponde a la de una jalea dura y rígida. Se llama cartílago a esa parte del cuerpo y sirve para unir los poderosos músculos, necesarios para una vida activa. En los vertebrados superiores, el esqueleto primitivo cartilaginoso sirve como andamiaje provisorio para otro de un material mucho más duro: los huesos, que son aun más satisfactorios para unir la potente musculatura. Esos esqueletos de hueso o de cartílago contienen una gran parte de tejido que no vive en sentido estricto; pero, a través de esa masa intercelular, existe una estructura viviente de células, membranas celulares y vasos sanguíneos nutritivos.

No sólo han desarrollado los vertebrados un esqueleto interno, sino también otros rasgos que los hacen capaces de una vida activa. Su sistema respiratorio, sea por branquias o pulmones, está muy bien adaptado para un intenso cambio de oxígeno entre el ambiente y la sangre; esta última efectúa más eficazmente su tarea que la de cualquier invertebrado, pues el pigmento respiratorio, que conduce el oxígeno, está concentrado en corpúsculos. Bombea la sangre por un sistema cerrado de vasos, mediante un corazón relativamente muy eficaz, en vez de hacerlo por una red abierta de senos irregulares.

Los insectos y los crustáceos, de hecho todos los artrópodos, están construidos para un sistema enteramente distinto de cre-

cimiento. La pared externa del cuerpo está rodeada de una capa de quitina, segregada por las células de la epidermis. Es esa una sustancia rígida, algo emparentada con la celulosa. En las articulaciones, es poco espesa y moderadamente flexible, pero en el resto del cuerpo se convierte en el exoesqueleto duro que observamos en el cangrejo de mar y en la cucaracha. Un endoesqueleto, como el del hombre, puede crecer con el animal. El esqueleto externo no puede hacer eso, a menos que aumente por acreción. Es tejido muerto y no posee ninguna capacidad intrínseca de crecimiento. Sirve para dar una protección firme al cuerpo y para apoyar los músculos, pero equivale a un chaleco de fuerza.

El crecimiento interior en los artrópodos puede convertirse en externo sólo arrojando de sí el viejo chaleco de fuerza y desarrollando debajo otro nuevo, que, al principio, es blando y elástico y puede adquirir una forma nueva y mayor, pero que pronto posee la rigidez de su predecesor. En otras palabras, las etapas del crecimiento se caracterizan por mudas definidas, relativamente frecuentes en los crustáceos, menos en los insectos. Durante el período larval, son posibles varias de esas etapas. La época de crisálida representa una muda transitoria en la cual las alas, que no podían funcionar en la larva, se ponen en disposición de servir a su fin propio. Eso ocurre en la etapa final de crisálida, cuando la muda produce un sujeto completamente adulto. Éste ya no experimenta ningún cambio. Ha alcanzado el estado sexual y, aunque en la mayor parte de los casos es capaz de ingerir alimentos, hay insectos en los que han abortado la boca y el tubo digestivo, por lo que el *imago,* como se llama a tales insectos, sólo puede aparearse, poner huevos y morir.

El sistema nervioso toma parte en ese proceso de destrucción y reconstrucción. Aunque existen razones para creer que una parte de la memoria pasa de la larva al adulto, no puede ser muy rica. *La condición fisiológica de la memoria, y del aprendizaje que se basa en ella parece ser cierta continuidad de la organización, que conduce a retener como cambios más o me-*

nos permanentes de estructura o función las alteraciones producidas por las impresiones sensoriales externas. La metamorfosis es demasiado radical para dejar un registro muy duradero de esos cambios. Es difícil imaginarse una memoria que pueda sobrevivir a ese proceso de reconstrucción interna total.

Existe otra limitación impuesta al insecto que se debe a su sistema de respiración y circulación. El corazón es una estructura tubular pobre y débil, abierta, no a vasos sanguíneos bien definidos, sino a vagas cavidades o senos que llevan la sangre a los tejidos. Esta sangre carece de corpúsculos, pues conduce el pigmento en solución. Este método de aporte de oxígeno parece ser inferior al corpuscular.

Además el método de oxigenación de los insectos, en el mejor de los casos, utiliza sólo localmente la sangre. El cuerpo del animal contiene un sistema de tubitos ramificados que conducen directamente el aire desde el exterior a los tejidos que han de oxigenarse. Se mantienen rígidos mediante fibras espirales de quitina, por lo que permanecen abiertos, pero no hay ninguna razón para creer en la existencia de un sistema activo de bombeo de aire. La respiración tiene lugar sólo por difusión.

Obsérvese que el mismo sistema de tubos introduce el aire puro y expele el cargado de anhidrido carbónico, siempre por difusión. En un sistema tal, el tiempo necesario varía, no como la longitud del tubo, sino como su cuadrado. Así, pues, en general, la eficacia tiende a disminuir con el tamaño del animal, y cae por debajo del punto de sobrevivencia si el tamaño pasa de cierto límite. Por todo ello, no sólo el insecto es capaz estructuralmente de tener una buena memoria, sino además, por la misma razón, de alcanzar un tamaño efectivo.

Para entender el significado de esta limitación dimensional, consideremos dos estructuras artificiales: el chalet y el rascacielos. Para ventilar el primero basta la corriente de aire producida por las ventanas, sin recurrir al tiro de la chimenea. No hace falta ningún sistema especial. En cambio, en un rascacielos, con habitaciones dentro de otras, si dejase de funcionar el sistema de ventilación, a los pocos minutos el aire será irres-

pirable en los espacios de trabajo. La difusión, incluida la térmica, ya no es suficiente para airear esa estructura.

El máximo absoluto del tamaño de un insecto es menor que el alcanzado por un vertebrado. En cambio, los elementos últimos de que se compone un insecto no son siempre menores que los correspondientes de un hombre o de una ballena. El sistema nervioso es también pequeño y, sin embargo, se compone de neuronas no mucho más pequeñas que las del cerebro humano, aunque aparezcan en menor número y su estructura sea mucho menos compleja. En lo que respecta a la inteligencia, hemos de tener en cuenta, no sólo el tamaño relativo del sistema nervioso, sino también en gran medida el absoluto. No hay espacio en la reducida estructura de un insecto para un sistema nervioso de gran complejidad, ni para una memoria muy amplia.

En vista de la imposibilidad de recordar numerosos hechos, teniendo en cuenta, además, que la juventud de un insecto como la hormiga transcurre en una forma que queda separada de la del adulto por la catástrofe intermedia de la metamorfosis, la hormiga no tiene la posibilidad de aprender mucho. Agréguese que la conducta durante la etapa adulta ha de ser sustancialmente perfecta desde el principio y se comprenderá que las instrucciones recibidas por el sistema nervioso deben ser en gran parte resultado de la manera como el insecto está construido y no de su experiencia personal. Así, el insecto se parece más a una especie de máquina de calcular cuyas instrucciones figuran de antemano en el "tecleado" y que carece casi por completo de mecanismo de retroalimentación capaz de guiar a través del incierto futuro.

La conducta de las hormigas es más cuestión de instinto que de inteligencia. *El chaleco de fuerza corporal dentro del cual crece el insecto es directamente responsable del otro mental que regula su forma de conducta.*

Aquí el lector podrá preguntarse: "Muy bien; ya sabemos que una hormiga, como individuo, no es muy inteligente, pero, ¿a qué viene toda esta complicación para demostrar por qué

no puede serlo?" La respuesta es que la *cibernética considera la estructura de una máquina o de un organismo como un índice de lo que puede esperarse de ella.* Tiene la mayor importancia para el punto de vista de este libro el hecho de que la rigidez mecánica del insecto limita su inteligencia, mientras que la fluidez del ser humano proporciona a éste una capacidad de expansión intelectual casi indefinida. Teóricamente, si pudiéramos construir una máquina que imitase la fisiología humana, su capacidad intelectual equivaldría a la del hombre.

En lo que respecta a la rigidez de la conducta, el caso más opuesto a la hormiga no es simplemente el mamífero en general, sino el hombre en particular. Se ha observado frecuentemente que el hombre es una forma neotécnica, es decir que, si lo comparamos con los grandes monos, sus parientes más próximos, encontramos que el adulto humano, en lo que respecta al pelo, la cabeza, la forma de las proporciones corporales, la estructura, los músculos, etc., se parece más a un mono de pocos días que a ese animal adulto. Entre los seres vivos, el hombre es como Peter Pan, que nunca deja de ser niño.

Esta carencia de madurez en la estructura anatómica corresponde a la infancia prolongada del hombre. Fisiológicamente, no llega a la pubertad hasta haber completado la quinta parte de la duración normal de la vida. Comparemos esa relación con la de un ratón, que vive tres años y empieza a procrear a la edad de tres meses. Es una razón de 1 a 12. El caso del ratón se aproxima más al de la mayoría de los mamíferos que al del hombre.

Para la mayoría de los mamíferos, la pubertad representa el fin de la época durante la cual están sometidos a tutela o algún punto todavía mucho más allá. En nuestras sociedades, se supone que el hombre carece de madurez hasta los 21 años y para las situaciones elevadas de la sociedad, el período de educación continúa hasta los 30, lo que realmente sobrepasa la época de máxima fortaleza física. El hombre emplea en aprender un lapso que importa casi el 40 % de la duración normal de su vida, siempre por razones que están relacionadas con su

estructura física. Para un grupo humano basarse en el aprendizaje es tan natural como para la sociedad de hormigas fundarse en una conducta heredada.

El hombre, como los otros organismos, vive en un universo contingente, pero su superioridad sobre el resto de la naturaleza consiste en poseer el equipo fisiológico y, por ende, intelectual para adaptarse a cambios radicales de su ambiente. La especie humana es fuerte sólo en cuanto aprovecha la facultad innata y plástica de aprender que es posible gracias a su estructura fisiológica.

Ya hemos señalado que la conducta efectiva ha de percatarse, mediante algún método de retroalimentación, de si ha alcanzado o no lo propuesto. La más simple se ocupa de éxitos o fracasos graves, tales como indicarnos si hemos agarrado un objeto que deseábamos levantar o si la vanguardia de un ejército se encuentra en el lugar prefijado a la hora señalada. Sin embargo, existen otras formas de naturaleza más sutil.

A menudo necesitamos saber si toda una línea de conducta, una táctica, por decirlo así, ha conducido al éxito o no. Si enseñamos a un animal a pasar por un laberinto para encontrar su alimento o evitar una descarga eléctrica, debe ser capaz de recordar el modo general de recorrerlo cuando tuvo éxito y cuando fracasó, y de cambiar su plan de acuerdo con ello. Esta forma de aprendizaje es ciertamente una retroalimentación, aunque de orden más elevado, es decir, de formas de conducta y no de simples acciones. Se distingue de las elementales en lo que Bertrand Russell llamaría su "tipo lógico".

Esta forma de conducta puede encontrarse también en las máquinas. Una innovación reciente en la técnica de los conmutadores telefónicos proporciona una interesante analogía con la capacidad de adaptación del hombre. En las comunicaciones telefónicas, el conmutador automático reemplaza rápidamente al manual; nos parece que los mecanismos actuales para obtener automáticamente una comunicación son casi perfectos. Sin embargo, basta reflexionar un poco para comprender que el método presente posee un equipo desproporcionado. El número

de personas con las que deseo hablar realmente por teléfono es limitado y, en gran parte, se trata siempre del mismo grupo, día tras día, semana tras semana. En la técnica actual de los conmutadores, ponerme en contacto con una persona a la que llamo cuatro o cinco veces al día no es esencialmente distinto de obtener el número de una persona con la cual tal vez nunca tengamos que conversar. Desde el punto de vista de un servicio equilibrado, utilizamos pocos conmutadores para responder a las llamadas frecuentes o demasiados para las extraordinarias, situación que me recuerda a la "calesa de un caballo" del poema de Oliver Wender Holmes. Como se recordará, aquel blancuzco vehículo, después de cien años de servicio, demostró estar tan cuidadosamente proyectado y construido que ni las ruedas, ni el toldo, ni las varas, ni el asiento contenían alguna parte que manifestara un exceso antieconómico de desgaste sobre cualquier otra. En realidad ese vehículo representa el *summun* de la ingeniería y no es sólo la fantasía de un humorista. Si las llantas hubieran durado un momento más que los rayos o el guardafango más que la vara, se hubieran desperdiciado ciertos valores económicos. Éstos hubieran podido ser menores, sin afectar a la durabilidad del vehículo, o podrían haber sido distribuidos mejor por todo él para que durara más. Así cualquier estructura que no comparta las características de este vehículo ha sido mal producida desde el punto de vista económico.

Esto significa que, para la mayor economía del servicio, no es deseable que sean del mismo orden el procedimiento para conectarme con el señor A, al que llamo tres veces al día, y el que me pone al habla con el señor B, que es simplemente uno de tantos nombres en la guía telefónica. Si se me concediera un método algo más directo de comunicarme con el señor A, quedaría más compensada la pérdida de tiempo que ocurriría al esperar el doble para conseguir la conexión con el señor B. Tendría un servicio mejor o más barato, o quizás ambas cosas, si pudiera construirse un aparato, sin mucho costo, que registrase mis conversaciones anteriores y me proporcionase comunicaciones proporcionales a mi utilización anterior del siste-

ma telefónico. La Philips Lamp Co., en Holanda, lo ha conseguido. Ha mejorado la calidad del servicio utilizando en la retroalimentación los "tipos lógicos" de Russell. Es una retroalimentación capaz de mayor variedad y adaptación y que se enfrenta de manera más efectiva que el equipo convencional con la tendencia entrópica de que lo más probable abrume a lo menos probable.

Repito que la retroalimentación es un método para regular sistemas introduciendo en ellos los resultados de su actividad anterior. Si se utilizan estos resultados como simples datos numéricos para corregir el sistema y regularlo, tenemos la sencilla retroalimentación de la ingeniería que se ha dado en llamar de *control*. Sin embargo, si la información que procede de los mismos actos de la máquina puede cambiar los métodos generales y la forma de actividad, tenemos un fenómeno que puede llamarse de aprendizaje.

Otro ejemplo de esto aparece en conexión con el problema de proyectar máquinas para predecir ciertos acontecimientos. Al iniciarse la segunda guerra mundial, la relativa ineficacia del fuego antiaéreo condujo a la necesidad de introducir aparatos capaces de seguir el vuelo de un avión, calcular su distancia, determinar el tiempo necesario para que lo alcanzase un proyectil y determinar su situación al cabo de ese lapso. Si el avión fuera capaz de adoptar cualquier curso enteramente arbitrario para evadirse, por muy hábiles que fuésemos, no podríamos calcular el movimiento desconocido hasta entonces, durante el tiempo que mediase entre el disparo del cañón antiaéreo y la llegada de la granada al punto aproximado de encuentro. Sin embargo, en muchos casos, el aviador no emprende un vuelo de evasión o no puede hacerlo. Está limitado por la fuerza centrífuga, que le hará perder el conocimiento si describe un arco de círculo de pequeño radio; por otra parte, los mecanismos de gobierno de su aeroplano y la ejecución de las órdenes recibidas le obligan prácticamente a proceder según hábitos regulares, que aparecen hasta en sus maniobras evasivas. La uniformidad en la maniobra no es absoluta sino que indica más

bien una preferencia estadística que es evidente en la mayoría de los casos. Puede ser distinta para diversos aviadores y ciertamente lo será para diferentes aviones. Recordemos que, al seguir un blanco que se mueve tan rápidamente como un aeroplano, el artillero no tiene tiempo de emplazar sus instrumentos para determinar dónde se encontrará el aparato. Todos los cálculos han de instalarse en el mecanismo de puesta en posición del arma. Esos cómputos deben tener en cuenta datos que dependen de estadísticas establecidas por experiencia con aviones de un tipo dado en diversas condiciones de vuelo. El estado actual de la técnica de la defensa antiaérea se concreta en un aparato que utiliza datos fijos de esta clase o una selección efectuada entre un número limitado de ellos. El artillero puede efectuar a voluntad una elección adecuada entre esas clases mediante llaves.

Existe otra etapa del problema de la regulación que puede tratarse también mecánicamente. La determinación de la trayectoria probable de un avión, de acuerdo con observaciones reales de su vuelo, transformándolas después en reglas para colocar la pieza en posición, es un problema matemático bien planteado. Comparado con el ataque real al aparato, según reglas prefijadas, es un acto relativamente lento e implica numerosas medidas de vuelos pasados. Sin embargo, no es enteramente imposible mecanizar ambas. Podemos construir un cañón antiaéreo que observe por sí mismo las estadísticas sobre el movimiento del blanco, convierta estos datos en un sistema de regulación y, finalmente, adopte este sistema para ajustar su posición según la del aparato y su velocidad.

Por lo que sé, eso no se ha hecho todavía; pero es un problema cuyas líneas coinciden con las que estamos considerando y que esperamos usar en otros problemas de predicción. El ajuste del plan general (apuntar y hacer fuego) de la pieza según el sistema particular de movimiento que ha efectuado el blanco es en lo esencial un acto de aprendizaje. Es un cambio en el *tecleado* del mecanismo de cálculo del cañón que altera, no principalmente los datos numéricos, sino el método me-

diante el cual se interpretan. De hecho es una retroalimentación de una clase muy general que afecta a todo el sistema de comportamiento del instrumento.

El fenómeno de aprendizaje, en su fase superior, tal como lo hemos descrito aquí, está limitado por las condiciones mecánicas del sistema en el cual tiene lugar; es evidente que no corresponde al proceso normal equivalente en el hombre. Pero podemos deducir de éste modos muy diversos de mecanizar un aprendizaje complejo. Nos proporcionan esas indicaciones la teoría de Locke de la asociación y la de Pavlov de los reflejos condicionados. Antes de entrar en materia, deseo hacer algunas observaciones generales para evitar ciertas críticas de la sugestión que he de presentar.

Permítaseme recordar la base sobre la que es posible desarrollar una teoría del aprendizaje. La mayor parte de las investigaciones de fisiología nerviosa han consistido en el estudio de la conducción de impulsos por las fibras nerviosas o neuronas; este fenómeno consiste en todo o nada. Es decir, si un estímulo alcanza el umbral de sensibilidad, de tal modo que pueda viajar por una fibra nerviosa, sin extinguirse a una distancia relativamente corta, el efecto que produce en un punto algo remoto es esencialmente independiente de su energía inicial.

Esos impulsos se trasmiten de fibra a fibra a través de conexiones que se llaman sinapses, en las cuales una fibra de entrada puede estar en contacto con muchas de salida e inversamente. En las sinapses, el impulso aportado por una sola fibra de entrada puede ser insuficiente para producir otro en las de salida. En general, si los impulsos que llegan a una de estas últimas, por otra de entrada, en la conexión sináptica, son pocos, las de salida no reaccionan. Cuando digo que son escasos, no debe entenderse necesariamente la uniformidad de acción de todas las de entrada; tampoco está decidido para siempre que no responderán las de salida en una serie dada de conexiones sinápticas activas. Menos pretendo ignorar que algunas de las de entrada en lugar de producir un estímulo en las de salida,

con las que están unidas, pueden tender a inhibirlas, es decir, a que no acepten nuevos estímulos.

Como quiera que sea, aunque puede describirse el problema de la conducción de impulsos a lo largo de una fibra de una manera bastante sencilla como un fenómeno de todo o nada, el problema del paso de uno de un impulso a través de una capa de conexiones sinápticas depende de una forma complicada de reacción, en la cual ciertas combinaciones de fibras de entrada responderán dentro de un cierto límite de tiempo, trasmitiendo un mensaje, mientras que otro conjunto de ellas no lo hará. Esas combinaciones no están fijadas definitivamente, ni tampoco dependen exclusivamente de los mensajes recibidos anteriormente por esa capa. Se sabe que cambian con la temperatura y probablemente también bajo el influjo de otras muchas causas.

Esta consideración del sistema nervioso corresponde a la teoría de las máquinas que consisten en una secuencia de llaves tales que la apertura de una de las últimas depende de la acción de combinaciones precisas de las anteriores, que conducen a ella y que se abren al mismo tiempo. Estas máquinas de todo o nada se llaman *digitales*. Tienen grandes ventajas para los más variados problemas de comunicación y regulación. En particular, la claridad de la decisión entre "sí" o "no" permite acumular informaciones de tal manera que podemos discriminar pequeñas diferencias en números muy grandes.

Además de estas máquinas que funcionan sobre la base de "si" o "no", existen otras de cálculo y regulación que miden en lugar de contar. Se llaman *analógicas*, pues funcionan sobre la base de una semejanza entre las cantidades medidas y los números que las representan. La regla de cálculo, ejemplo de máquina analógica, se diferencia de una calculadora de escritorio en que ésta funciona digitalmente. Los que la utilizan saben que la escala sobre la que han de imprimirse las marcas y la agudeza de nuestra vista imponen límites muy estrechos a la exactitud con que pueden leerse los resultados. Contra lo que pudiera imaginarse no es fácil extender esos límites haciendo

más grande la regla. Una de tres metros proporcionará sólo una cifra decimal más y, para que pueda hacerlo, es necesario que cada parte de la grande se construya con la misma precisión de la pequeña y también que la orientación de las partes sucesivas tenga el mismo grado de exactitud. Además el problema de mantener rígida la larga es más difícil que en la corta y limita la precisión mayor que pudiera obtenerse por un aumento del tamaño. En otras palabras, para los propósitos prácticos, las máquinas que miden, comparadas con las que cuentan, tienen una precisión muy limitada. Agréguese a ello el prejuicio de los fisiólogos en favor de "todo o nada" y vemos por qué gran parte de las investigaciones efectuadas con simulacros mecánicos del cerebro se han llevado a cabo con máquinas que pertenecen más o menos claramente al grupo de las digitales.

Sin embargo, si insistimos demasiado firmemente en asegurar que el cerebro es una gloriosa máquina digital, quedaremos expuestos a algunas críticas muy justas que, en parte, provendrán de los fisiólogos y en parte del campo opuesto, de aquellos psicólogos que prefieren prescindir de las analogías mecánicas. Ya he dicho que, en las máquinas digitales, hay un *tecleado* que determina la secuencia de las operaciones a efectuar y que un cambio de esa operación basada en la experiencia corresponde a un aprendizaje. En el cerebro la analogía más clara del tecleado es la determinación de los umbrales sinápticos, de las combinaciones precisas de las neuronas de entrada que propagarán un estímulo a otras de salida con las que están conectadas. Ya hemos visto que esos umbrales varían con la temperatura; no hay ninguna razón para creer que no cambiarán de acuerdo con la composición química de la sangre y con otros muchos fenómenos que, en principio, no tienen esa naturaleza de "todo o nada". En consecuencia es necesario, al considerar el problema del aprendizaje, proceder con mucho cuidado y no presuponer una teoría de "todo o nada" del sistema nervioso, sin haber hecho un estudio crítico de ese concepto y sin pruebas experimentales específicas que apoyen nuestra hipótesis.

Se ha dicho a menudo que ninguna teoría del aprendizaje

será razonable para la máquina. Se dirá también que, en el estado actual de nuestros conocimientos, cualquier teoría de aprendizaje que yo presente será prematura y no corresponderá al funcionamiento real del sistema nervioso. Deseo seguir un camino equidistante entre esas dos críticas. Por una parte, quiero dar un método para construir máquinas capaces de aprender, lo que no sólo me permitirá proyectar algunas especiales de esa clase, sino que además me proporcionará una cierta técnica general para producir grupos muy amplios de ellas. Sólo si alcanzo ese grado de generalidad me habré defendido hasta un cierto punto de la objeción según la cual el fenómeno mecánico que yo aseguro ser idéntico al aprendizaje es de hecho algo esencialmente distinto de ello.

Por otra parte, deseo describir esas máquinas mediante términos que no sean demasiado extraños a los que pueden observarse realmente en el sistema nervioso y en la conducta del hombre y de los animales. Comprendo perfectamente que no puedo esperar tener razón en los detalles al presentar el verdadero mecanismo humano y que puedo hasta estar equivocado en los principios. Sin embargo, si doy un dispositivo que pueda formularse verbalmente en función de conceptos que pertenecen a la fisiología del cerebro y de la inteligencia, proporcionaré a la crítica un punto de partida y una norma para comparar el desempeño que puede esperarse basándose en otras teorías.

A fines del siglo XVII, Locke consideró que el contenido de la mente se compone de lo que llamó *ideas*. Para él, la mente es enteramente pasiva, una hoja en blanco, *tabula rasa*, sobre la que las vivencias de cada individuo escriben sus propias impresiones. Si ellas aparecen a menudo, sea simultáneamente o en una cierta secuencia, o de tal manera que corrientemente se consideran de causa y efecto, según Locke, formarán otras impresiones o ideas más complejas, con una cierta tendencia positiva de los elementos a permanecer unidos. El mecanismo mediante el cual las ideas se unen o se mantienen unidas radica en ellas mismas; en toda la obra de Locke existe, sin embargo,

una singular renuencia a describir ese mecanismo. Su teoría puede tener con la realidad la misma relación que el dibujo de una locomotora tiene con la misma máquina en funcionamiento. Es un diagrama sin partes que se mueven. No ha de extrañarnos eso si recordamos la fecha de elaboración de esa teoría. Fue en la astronomía, no en la técnica o en la psicología, donde el punto de vista dinámico, el de partes en funcionamiento, obtuvo por primera vez la importancia que merece; ocurrió eso en la obra de Newton, que no es un predecesor de Locke, sino su contemporáneo.

Durante siglos la ciencia, dominada por el impulso aristotélico de clasificar, descuidó la tendencia moderna de averiguar el modo cómo ocurren los fenómenos. Con los animales y plantas que debían descubrirse todavía, es difícil ver cómo la biología hubiera podido entrar en una etapa dinámica excepto mediante la continua recolección de hechos de la historia natural descriptiva. El gran botánico Linneo nos servirá de ejemplo. Para él, las especies y los géneros eran formas aristotélicas fijas, más que indicadores de un proceso evolutivo; pero sólo sobre la base de una descripción completa linneana pudo establecerse una argumentación lógica en favor de la evolución. Los primitivos naturalistas eran los explotadores prácticos del intelecto; estaban demasiado poseídos del deseo de apoderarse y ocupar nuevas tierras, para que fueran muy precisos al tratar el problema de explicar las nuevas formas que observaban. Después del explorador, llega el granjero y después del naturalista, el moderno hombre de ciencia.

En el último cuarto del siglo pasado y el primero del presente, otro gran estudioso, Pavlov, investigó a su manera, en lo esencial, el mismo terreno que Locke había explorado antes. Sin embargo, su estudio de los reflejos condicionados fue llevado a cabo experimentalmente y no teóricamente como Locke. Además lo consideró tal como ocurre en los animales inferiores y no en el hombre. Ellos no pueden hablar nuestro lenguaje, pero se expresan mediante la conducta. Gran parte de su comportamiento más conspicuo es afectivo, por sus motivos, y la

mayoría de sus emociones se refieren al nutrimiento. Pavlov empezó por la cor ida y con el síntoma físico de la salivación. Es fácil inyectar una cánula en los conductos salivales de un perro y observar la secreción estimulada por la presencia de alimento.

Por lo común, muchas cosas sin relación con la comida (visión de ciertos objetos, percepción de algunos sonidos) no producen ningún efecto en la salivación, pero Pavlov observó que, si el perro percibía ciertas formas o sonidos a las horas del alimento, bastaban unas u otros para producirla. Es decir, el reflejo de la salivación estaba condicionado por una asociación pasada.

Aquí, en el nivel de los reflejos animales, tenemos algo análogo a la asociación de ideas de Locke; la conexión de dos de ellas ocurre en reflejos que son respuestas cuyo contenido emocional es probablemente muy grande. Observemos la naturaleza bastante complicada de los antecedentes necesarios para producir un reflejo condicionado del tipo Pavlov. Para empezar, están generalmente centrados alrededor de algo importante en la vida del animal, en este caso, la nutrición, aun cuando en la forma final del reflejo puede desaparecer enteramente lo alimenticio. Sin embargo, podemos ilustrar la importancia del estímulo inicial de un reflejo condicionado pavloviano mediante el ejemplo de los alambres electrizados de un establecimiento ganadero.

No es fácil cerrar un recinto con alambres tan fuertes que impidan que un toro los cruce. Por eso es económico reemplazar varios fuertes por uno o dos relativamente finos que conduzcan un voltaje suficientemente alto como para proporcionar una descarga bastante apreciable. El animal produce un cortocircuito cuando toca el conductor con su cuerpo. Esa valla tendrá que resistir una o dos veces la presión del vacuno, pero después de ello, actúa, no por poder aguantar la presión del toro, sino por que éste ha adquirido un reflejo condicionado que tiende a evitar el contacto con el conductor. En este caso, el disparador inicial del reflejo es el dolor: evitar el sufrimiento es importantísimio para la continuación de la vida. El segundo

disparador es la visión del alambre. Hay otros disparadores además del hambre y el dolor, que conducen a reflejos condicionados. Equivaldría a utilizar un lenguaje antropomórfico llamar a eso situaciones emotivas, pero no se necesita el punto de vista humano para describirlas como estados cuya intensidad e importancia es casi única entre todas las otras vivencias del animal. Los llamemos emocionales o no, producen intensos reflejos. En la formación de los reflejos condicionados en general, la reacción se transfiere a una de esas situaciones que actúa como disparador. Son situaciones que aparecen por lo común asociadas con el disparador original. El cambio del estímulo en relación con una respuesta dada debe tener una correlación nerviosa como la apertura de un camino sináptico, cerrado en condiciones normales, que conduce a la respuesta o el cierre de otro que normalmente estaría abierto; eso equivale a lo que en cibernética se llama *cambio de tecleado.*

Le precede la asociación continua del antiguo y fuerte estímulo natural de una reacción particular y el nuevo que es su concomitante. Es como si el primitivo fuera capaz de cambiar la permeabilidad de aquellos caminos que conducían un mensaje cuando él poseía actividad. Lo interesante es que el nuevo estímulo activo no necesita casi ninguna predeterminación en sí, excepto la repetida concomitancia con el original. Así éste parece producir un efecto de largo término en todos aquellos caminos que conducían un mensaje en el momento de su aparición o por lo menos en gran número de ellos. La insignificancia del estímulo sustitutivo indica que el efecto modificador del original es amplio y que no está limitado a unos pocos caminos especiales. Suponemos, por consiguiente, que puede haber alguna clase de mensaje general liberado por el estímulo primitivo, pero que es activo únicamente en aquellos caminos que conducían un mensaje en los momentos en que ese estímulo primitivo se producía. Tal vez el efecto de esta actividad no sea permanente, pero dura bastante. El lugar más lógico donde puede suponerse que ocurre ese fenómeno es en las sinapses, afectando probablemente a sus umbrales.

No es extraña la idea de un mensaje sin dirección que se extiende hasta encontrar un receptor al que estimula. Los de este tipo se usan frecuentemente como señales de alarma. La sirena de incendio es un llamado a todos los ciudadanos y en particular a los miembros del cuerpo de bomberos, dondequiera que se encuentren. En una mina, cuando se desea que todos abandonen las galerías, por haberse notado la presencia de metano, se rompe en la toma de aire un tubo de etilmercaptano. No hay ninguna razón para suponer que los mensajes de esa clase no se producen en el sistema nervioso. Si tuviera que construir una máquina de aprendizaje de tipo general, me inclinaría a emplear este método de la conjunción de mensajes "a quien pueda interesar", de distribución general, con otros localizados en caminos especiales. No será extraordinariamente difícil idear métodos eléctricos que efectúen esa tarea. Naturalmente, no es lo mismo asegurar que el aprendizaje en el animal ocurre realmente mediante esa conjunción de mensajes generales y otros encarrilados por un camino especial. Francamente creo que así es, pero las razones en pro no permiten asegurar hasta ahora que eso sea más que una conjetura.

En cuanto a la naturaleza de esos mensajes del tipo de "a quien pueda interesar", suponiendo que existan, me encuentro en un terreno aun más especulativo. Podrán ser nerviosos, pero me inclino a atribuirlos al aspecto no-digital o analógico del mecanismo que es causa de los reflejos y del pensamiento. Es una verdad de perogrullo atribuir una acción sináptica a los fenómenos químicos. En realidad, en la actividad de un nervio, es imposible separar el potencial químico del eléctrico; decir que una cierta acción particular es química carece casi completamente de sentido. Sin embargo, no se violentan las ideas modernas suponiendo que, por lo menos, una de las causas o uno de los concomitantes de los cambios sinápticos es una modificación química que se manifiesta localmente, cualquiera que sea su origen. La presencia de un cambio de esa clase puede muy bien depender localmente de emisión de señales que se trasmiten por los nervios. Por lo menos, es igualmente conce-

bible que los cambios de esa clase puedan deberse en parte a otros químicos trasmitidos generalmente, no por los nervios, sino por la sangre. Es concebible que los mensajes "a quien pueda interesar" sean trasmitidos por los nervios y se manifiesten localmente en esa acción química que acompaña a los cambios sinápticos. Para mí, como ingeniero, la trasmisión de esos mensajes del tipo "a quien pueda interesar" se efectuará más económicamente por la sangre que por los nervios. Pero no tengo de ello ninguna demostración.

Recordemos que esas influencias "a quien pueda interesar" tienen una cierta semejanza con los cambios en el mecanismo de regulación del cañón antiaéreo que conducen al aparato todas las estadísticas nuevas en lugar de aquellos otros que le llevan directamente sólo datos numéricos específicos. En ambos casos tenemos una acción que probablemente ha ido acumulándose durante largo tiempo y que producirá efectos por largos períodos.

La rapidez con la cual el reflejo condicionado responde al estímulo no es un índice de la velocidad con la que el reflejo se condiciona. Por ello me parece propio que un mensaje que de tal modo condiciona, sea conducido por la corriente sanguínea, lenta pero penetrante.

Equivale a limitar mucho lo que requiere mi punto de vista suponer que pasa por la sangre la influencia fijadora del hambre, del dolor o de cualquier otro estímulo capaz de determinar un reflejo condicionado. Sería una restricción aun mayor si intentara especificar la naturaleza de esa influencia desconocida, transportada así, si es que existe. Me parece muy probable que la sangre conduzca sustancias capaces de modificar directa o indirectamente la acción nerviosa; hay indicaciones en este sentido en la actividad de, por lo menos, algunas hormonas o secreciones internas. Sin embargo, eso no equivale a decir que la influencia sobre los umbrales determinante del aprendizaje es el resultado de hormonas específicas. Además, estamos tentados de encontrar el denominador común del hambre y del dolor causado por la descarga eléctrica en algo que podemos llamar

emoción, pero ciertamente es ir demasiado lejos dar ese nombre a todos los condicionantes de reflejos, sin considerar más a fondo su naturaleza particular.

Sin embargo, es interesante saber que la clase de fenómeno que se registra subjetivamente como una emoción puede ser, no meramente un inútil epifenómeno de la acción nerviosa, sino algo que puede regular alguna etapa esencial del aprendizaje y de otros procesos similares. No afirmo de ninguna manera que sea así, pero, en mi opinión, aquellos psicólogos que establecen una distinción neta e infranqueable entre las emociones del hombre y las de los otros seres vivientes y las reacciones de los tipos modernos de máquinas automáticas, deberían ser tan cuidadosos en sus negaciones, como lo soy yo en mis asertos.

IV

EL MECANISMO Y LA HISTORIA DEL LENGUAJE

Naturalmente, ninguna teoría de las comunicaciones puede eludir la discusión del lenguaje. De hecho, éste es sólo otro nombre para comunicaciones, así como una voz utilizada para designar los códigos mediante los cuales las comunicaciones se efectúan. Ya veremos más adelante, en este mismo capítulo, que la utilización de mensajes en código y su desciframiento tiene mucha importancia, no sólo para el hombre, sino para otros organismos vivientes y para las máquinas utilizadas por los seres humanos. Los pájaros, los monos, los insectos se comunican entre sí; en toda participación de ese tipo se utilizan señales o símbolos que pueden entenderse sólo si se conoce el sistema de código aplicado.

Lo que distingue a las comunicaciones entre los hombres del mismo hecho entre la mayoría de los animales es: a) la delicadeza y complejidad del código utilizado y b) el alto grado de arbitrariedad del mismo. Muchos animales pueden manifestar así la presencia de un enemigo o de otro ser de la misma especie, pero de distinto sexo, y una gran variedad de mensajes específicos de la misma clase. La mayoría de estos mensajes son fugaces y no se acumulan. Gran parte se traduciría en el lenguaje humano mediante interjecciones y exclamaciones, aunque algunas podrían ser un grosero equivalente de voces que para nosotros serían probablemente nombres y adjetivos, pero que el animal emite sin la correspondiente distinción respecto a la forma gramatical. En general suponemos que el animal

expresa primero emociones y luego cosas, sin que sea capaz de indicar relaciones más complicadas.

Además de esa limitación, el lenguaje animal, en cuanto concierne al carácter de lo que se comunica, está fijado por la especie y es invariable en lo histórico. El rugido de un león se parece mucho al rugido de otro león. Sin embargo, hay animales como el loro, la corneja y los estorninos, que parecen capaces de retener sonidos, particularmente los gritos de otros animales y la voz humana, modificando o aumentando su vocabulario, aunque dentro de muy estrechos límites. Aun ellos parecen carecer de la libertad del hombre para utilizar cualquier sonido pronunciable como código e introducirlo en el grupo que le rodea en tal forma que el conjunto de tales sonidos forme un lenguaje aceptado y entendido por esa sociedad, careciendo casi de sentido para el que no pertenece a ella.

Dentro de sus enormes limitaciones, los pájaros que pueden imitar el lenguaje humano tienen de común varios rasgos: son sociales, bastante longevos y poseen una memoria que es excelente, si no se la compara con las exigentes normas humanas. Sin duda, un ave parlante puede aprender a utilizar sonidos humanos o animales en el momento adecuado; un observador casual creerá encontrar en ello algo de inteligencia. Sin embargo, aun en los más charlatanes entre los animales fracasan al competir con el hombre, pues es menor su facilidad para dar significado a nuevos sonidos, es más pobre el repertorio de los codificados y retenidos por la memoria verbal y, lo que es más importante, es inferior su habilidad para formar símbolos de relaciones, clases u otros entes del "tipo lógico superior" de Russell.

Sin embargo, deseo insistir en que el lenguaje no es un atributo exclusivo de los seres vivientes, pues lo comparten en un cierto grado las máquinas construidas por el hombre. Deseo mostrar además que la preocupación del hombre por el lenguaje representa ciertamente una posibilidad que le es innata y que no comparte con sus más próximos parientes, los grandes monos. Sin embargo, demostraré que en él es una posibilidad únicamente aprovechable mediante el aprendizaje.

Generalmente, al pensar en las comunicaciones, suponemos que se efectúan de persona a persona. Sin embargo, es posible que un hombre hable a una máquina, o ésta a un ser humano, o un aparato a otro. Por ejemplo, en algunas desoladas regiones del oeste de los Estados Unidos y del norte del Canadá, hay muchos lugares donde pueden construirse centrales hidroeléctricas, demasiado alejadas de las poblaciones y demasiado pequeñas para justificar la fundación de una ciudad nueva. Por consiguiente, se desea manejar esas centrales de tal modo que no se requiera en ellas un personal permanente, dejándolas sin atención durante meses entre cada dos visitas de un inspector.

Para conseguir eso, hacen falta dos cosas: una de ellas es la introducción de mecanismos automáticos que hagan imposible conectar el alternador a las barras de alimentación hasta que haya adquirido la frecuencia, el voltaje y la fase convenientes y que protejan a las instalaciones de manera similar contra otras desastrosas contingencias eléctricas, mecánicas e hidráulicas. Este tipo de funcionamiento sería suficiente si el ciclo diario de la central fuera ininterrumpido e inalterable.

Pero no ocurre así. La carga que soportan los generadores depende de numerosos factores arbitrarios. Entre ellos se cuentan: demanda industrial variable, casos de emergencia capaces de poner fuera de servicio una parte de las instalaciones y hasta una nube pasajera, que puede inducir a millares de hogares y oficinas a prender las luces, en pleno día. Se deduce de ello que las centrales automáticas, así como las que funcionan bajo supervisión humana, deben estar continuamente sometidas a un personal que, para distribuir la carga, pueda dar órdenes a esas máquinas; lo hace mediante señales adecuadas en código que llegan a la central por líneas construidas especialmente para ese propósito, utilizando las telegráficas o telefónicas ya existentes o usando la misma de trasmisión de energía. Por otra parte, antes que ese personal pueda dar órdenes inteligentes, es necesario que sepa lo que pasa en la estación generadora. En particular, debe saber si se han cumplido las órdenes impartidas o

si éstas han quedado en suspenso por alguna falla del equipo. Así, las máquinas de la central han de ser capaces de enviar de vuelta mensajes a ese personal. Aquí hay un ejemplo de lenguaje que sale del hombre y está dirigido a la máquina y viceversa.

El lector podrá encontrar muy curioso que concedamos el lenguaje a las máquinas y se lo neguemos casi completamente a las hormigas. Sin embargo, al construir máquinas es a menudo de la mayor importancia extender hasta ellas ciertos atributos que no se encuentran en los animales inferiores. Si el lector considera que esto es una extensión metafórica de nuestras personalidades humanas, está en su derecho, pero es necesario advertirle que las nuevas máquinas no dejarán de trabajar tan pronto como haya cesado la colaboración humana.

El lenguaje que se dirige a la máquina se compone realmente de varias etapas. Desde el punto de vista del ingeniero a cargo de la línea, el código que se trasmite por ella es completo en sí mismo. Podemos aplicar a este mensaje todos los conceptos de la cibernética o de la teoría de los mensajes. Podemos evaluar la cantidad de información que lleva, determinando su probabilidad en el conjunto de todos los mensajes posibles y tomando después el logaritmo negativo de esta probabilidad, como se ha explicado en el capítulo I. Sin embargo, eso no representa la información que realmente conduce la línea, sino la cantidad máxima que puede llevar, si fuese a un adecuado equipo terminal. La cantidad de información conducida con verdadero equipo terminal depende de la capacidad de este último para trasmitir o utilizar la recibida.

Así llegamos a un nuevo concepto de la manera cómo la estación generadora recibe las órdenes. Su actitud real de abrir y cerrar llaves, de colocar los generadores en fase, de regular el flujo de agua que entra por las compuertas, de poner en actividad las turbinas o detenerlas, puede considerarse como un lenguaje en sí mismo, con un sistema de probabilidades de conducta dado por su propia historia. Dentro de ese sistema, toda secuencia posible de órdenes tiene su propia probabilidad y por ello conduce su propia cantidad de información.

Naturalmente, es posible que la relación entre la línea y la máquina terminal sea tan perfecta que la cantidad de información contenida en un mensaje, desde el punto de vista de la capacidad de aporte de la línea, así como la que corresponde a las órdenes cumplidas, desde el punto de vista del funcionamiento de la máquina, sean idénticas a la cantidad de información trasmitida por el sistema compuesto de ambas. Sin embargo, en general, existirá una etapa de traducción entre la línea y la máquina, donde, si se pierde una parte de la información, nunca podrá ser recuperada. En realidad, el proceso de trasmitir información puede contener varias etapas consecutivas de trasmisión, además de la final o efectiva y, entre cualquier par de ellas, se producirá una traducción capaz de disipar informaciones. Como vemos, la segunda ley de la termodinámica se expresa en cibernética asegurando que puede disiparse la información, pero no recuperarse.

Hasta este punto del presente capítulo hemos discutido sistemas de comunicaciones que conducen finalmente a máquinas. En cierto sentido, todos ellos terminan en máquinas, aunque el lenguaje termine en una clase especial de ellas, conocida con el nombre de ser humano. En cuanto máquina terminal, el hombre tiene una red de comunicaciones que puede considerarse según tres niveles distintos. Para el lenguaje hablado corriente, el primer nivel consiste en el oído y en aquella parte del mecanismo cerebral que está unida rígida y continuamente al oído interno. Este aparato, unido al de producción de vibraciones sonoras del aire o su equivalente en un circuito eléctrico, representa la máquina que se ocupa del aspecto fonético del lenguaje, del sonido.

El *semántico* o segundo aspecto del lenguaje se ocupa del sentido; aparece, por ejemplo, en las dificultades al traducir de un idioma a otro, pues la imperfecta correspondencia entre el significado de las palabras restringe el flujo de información entre ambos. Se puede obtener una notable semejanza con una lengua como la inglesa, tomando una secuencia de palabras, por pares o grupos de tres, de acuerdo con la frecuencia estadística

con la que aparecen en el habla, y el disparatado conjunto así obtenido tendrá una analogía notablemente persuasiva con el buen inglés. Ese simulacro sin sentido del discurso inteligente es prácticamente equivalente al lenguaje significativo, desde el punto de vista fonético, aunque sea un disparate, mientras que el inglés de un extranjero inteligente, cuya pronunciación denota su país de nacimiento, o que habla literariamente, será semánticamente bueno y fonéticamente malo. En cambio, el discurso medio de sobremesa es fonéticamente bueno y semánticamente malo.

En el aparato humano de comunicaciones es posible, aunque difícil, determinar las características de su mecanismo fonético y, en consecuencia, también es posible, aunque difícil, establecer lo que es fonéticamente una información importante. Por ejemplo: es claro que el oído y el cerebro poseen un límite superior de frecuencia auditiva que impide la recepción de ciertas frecuencias altas que pueden penetrar por el oído y ser trasmitidas por el teléfono. En otras palabras, esas frecuencias elevadas, cualquiera que sea la información que proporcionen a un receptor adecuado, no trasmiten ninguna cantidad importante de información al oído. Pero es aun más difícil determinar y medir la información semáticamente importante.

La recepción semántica requiere una memoria y, en consecuencia, largas dilaciones. Los tipos de abstracciones que pertenecen a la importante etapa semántica no son sólo los asociados con reuniones secundarias de neuronas en el cerebro, tales como las que deben desempeñar un importante papel en el reconocimiento de formas geométricas, sino mecanismos detectores de abstracciones que consisten en partes del *fondo internuncial* —es decir, en series de neuronas que están en disponibilidad para formar grandes conjuntos, sin estar unidas permanentemente a ellos— y que se han conectado temporalmente para ese propósito.

Además de las reuniones altamente organizadas y permanentes del cerebro cuya existencia es indudable y que se encuentran en aquellas partes asociadas a los órganos de los sentidos así

como en otros lugares, existen conmutadores y conexiones *ad hoc* que parecen formarse temporalmente para propósitos especiales, tales como los reflejos aprendidos y cosas análogas. Para poder formar esos conmutadores particulares debe ser posible reunir secuencias de neuronas disponibles para ese fin y que no se utilicen entonces. Estas conexiones afectan naturalmente a los umbrales sinápticos de las neuronas reunidas. Puesto que existen neuronas que pueden encontrarse fuera o dentro de tales reuniones transitorias, es deseable darles un nombre especial. Como lo he indicado ya, considero que corresponden muy aproximadamente a lo que los fisiólogos del sistema nervioso llaman *fondo internuncial*, por lo que se les dará esa denominación.

Esta es por lo menos una teoría razonable de su comportamiento. El aparato receptor semántico no recibe ni traduce el lenguaje palabra por palabra, sino idea por idea, y a menudo procede de una manera aun más general. En cierto sentido, puede evocar toda la experiencia pasada en sus transformaciones y estas etapas largas no son una parte trivial de su actividad.

Existe otro nivel de comunicaciones, el tercero, que representa una traducción en parte del semántico y en parte del fonético primitivo. Es la traducción de las vivencias del individuo, conscientes o inconscientes, en acciones que pueden observarse desde afuera. Lo llamamos el *nivel de comportamiento* del lenguaje. En los animales inferiores, es el único nivel idiomático que podemos observar, además de la *entrada* fonética. En realidad, esto es cierto aun en el caso del individuo humano, cuando no es la persona a la que se dirige cualquier instrucción dada en un caso particular, en el sentido de que tal persona tiene acceso a las ideas internas de otra únicamente por las acciones de la última. Estas acciones consisten en dos partes: actos directos y fácilmente perceptibles de la misma clase que se observa en los animales inferiores y el sistema de acciones codificadas y simbólicas que designamos lenguaje hablado o escrito.

No es teóricamente imposible desarrollar una estadística de

los lenguajes semántico y de conducta hasta un nivel tal que podamos obtener una buena medida de la cantidad de información que contienen. Podemos demostrar mediante observaciones comunes que el lenguaje fonético llega al aparato receptor con menos información general que la originalmente enviada o, por lo menos, con ninguna mayor que la que puede aportar el sistema de trasmisión que conduce al oído; y que tanto el lenguaje semántico como el de conducta contienen aun menos. Este hecho es un corolario más de la segunda ley de la termodinámica y es necesariamente válido si, en cada etapa, consideramos que la información trasmitida es el máximo que pudo aportarse con un sistema receptor adecuadamente codificado.

Permítaseme ahora llamar la atención del lector sobre algo que para él no es tal vez un problema: ¿por qué un chimpancé no habla? Su comportamiento ha sido durante mucho tiempo un enigma para los psicólogos que se han ocupado de esos interesantes animales. El chimpancé joven es extraordinariamente parecido a un niño y evidentemente su igual o tal vez hasta su superior en cuestiones intelectuales. Los que se ocupan de psicología animal no han podido menos de preguntarse por qué uno de esos animales, criado en una familia humana y sometido al impacto del lenguaje hasta la edad de uno o dos años, no rompe a hablar como una criatura.

Afortunadamente o por desgracia, como sea, ocurre efectivamente que todos los observados hasta ahora persisten en ser buenos chimpancés y no se convierten en débiles mentales casi humanos. Sin embargo, creo que la mayoría de los que se ocupan de psicología animal esperan ansiosamente que aparezca uno, la mancha de sus antepasados simiescos, que adquiera formas de conducta más humanas. El fracaso no proviene exclusivamente de la magnitud de la inteligencia, pues hay seres humanos defectuosos cuyo cerebro sería una vergüenza en la cabeza de un chimpancé. Ocurre que no entra en la naturaleza de la bestia el hablar o el querer hablar.

El lenguaje es una actividad tan peculiarmente humana que

ni siquiera se acercan a ella los parientes más cercanos del hombre y sus más activos imitadores. Cierto es que los pocos sonidos emitidos por un chimpancé tienen un alto contenido emocional, pero carecen de la fina organización, clara y repetidamente exacta, que es necesaria para que sean un código algo más seguro que los maullidos de un gato. Además (y esto los distingue aun más del lenguaje humano) a veces son una manifestación instintiva, sin aprendizaje previo, y no la conducta aprendida de un miembro de una comunidad social dada.

Es notabilísimo que el hombre, en cuanto tal, posea el habla, pero que además una forma peculiar de ella sea privativa del hombre en cuanto miembro de una comunidad social particular. En primer lugar, considerando a todos los hombres, según los conocemos hoy, podemos asegurar que no existe ninguna comunidad, excepto si sus componentes padecen de algún defecto auditivo o mental, que no posea su propio idioma. En segundo lugar, el lenguaje se aprende y, a pesar de todas las tentativas del siglo XIX para formular una teoría genético-evolucionista del lenguaje, no existe la menor razón de orden general para postular cualquier habla primitiva de la que se han derivado todas las formas actuales. Es evidente que si se les deja solos, los niños intentarán hablar. Sin embargo, sus ensayos muestran sólo su propia inclinación para emitir sonidos, sin que se conformen con ninguna forma real de un lenguaje cualquiera. Es evidente, casi en el mismo grado, que si se los excluyera de la comunidad de los mayores, durante los años críticos de formación del lenguaje, un grupo de niños saldría de esa época con algo que, por muy rudo que fuese, sería un lenguaje, sin lugar a dudas.

¿Por qué, pues, no puede obligarse a los chimpancés a hablar y en cambio es imposible evitar que los niños lo hagan? ¿Por qué es tan uniforme la tendencia general al habla y los aspectos generales visuales y psicológicos de ella en grandes grupos humanos, mientras que las manifestaciones idiomáticas particulares son tan variadas? Por lo menos, un entendimiento parcial de estos temas es esencial para comprender la comunidad ba-

sada en el lenguaje. Nos limitamos a enunciar los hechos fundamentales, diciendo que, en el hombre, a diferencia de los monos, es abrumadora la necesidad de usar algún lenguaje, pero que el particular utilizado debe aprenderse en cada caso especial. Al parecer, forma parte del cerebro esa preocupación por los códigos y por los sonidos del habla, y esa preocupación puede extenderse desde las cuestiones idiomáticas hasta aquellas que se ocupan de estímulos visuales. Sin embargo, ni siquiera un fragmento de esos códigos se nos da al nacer como si fuera un rito, en lo que se distingue de las danzas amorosas de muchos pájaros o del sistema del reconocimiento mediante el cual las hormigas admiten o excluyen a los seres que entran en el hormiguero. El don del lenguaje no se remonta a un idioma universal adamita que desapareció después de la Torre de Babel. Es un impulso psicológico puro; no es el don de una lengua, sino la capacidad de expresarse en una de ellas.

En otras palabras, lo que impide que un chimpancé aprenda a hablar es una dificultad de la etapa semántica y no de la fonética. *Ese animal carece del mecanismo que conduce a traducir los sonidos que oye en una base alrededor de la cual unifica sus propias ideas o una forma compleja de conducta.* No podemos estar seguros de la primera de estas afirmaciones, pues no poseemos ningún método directo de observarla. La segunda es simplemente un hecho empírico que puede notar cualquiera. Puede tener sus limitaciones, pero es clarísimo que el hombre posee ese mecanismo.

En este libro hemos insistido en la extraordinaria habilidad humana para aprender, como un rasgo característico de la especie que convierte la vida social en un fenómeno enteramente distinto por su naturaleza de la existencia en común aparentemente análoga de las abejas, las hormigas y otros insectos sociales. Tal vez sean algo ambiguos los casos de niños privados del contacto con otros seres de su misma especie, durante los años normalmente críticos de la adquisición corriente del lenguaje. El "niño lobo" que condujo al *Libro de la jungla*, de Kipling, con sus osos de "escuela pública" inglesa y sus lobos

de Sandhurst, es tan poco de fiar en su original e intensa escualidez como las idealizaciones del libro citado. Sin embargo, las observaciones a nuestra disposición demuestran que existe un período crítico, durante el cual es más fácil aprender a hablar; si se le deja transcurrir sin que exista el contacto con seres de la misma especie humana de cualquier clase que sean, el aprendizaje del idioma es limitado, lento y altamente imperfecto.

Eso es probablemente cierto de la mayoría de cada una de las otras facultades que consideramos una habilidad natural. Si un niño no aprende a andar hasta que tiene tres o cuatro años, para entonces habrá perdido todo deseo de hacerlo. La locomoción corriente se convertirá para él en una tarea más dura que manejar un vehículo para el adulto normal. Si una persona queda ciega a temprana edad y ese defecto se cura mediante una operación de las cataratas o un transplante de córnea, durante un tiempo la visión es confusa y no hará más que embarullar aquellas actividades que se efectuaban antes normalmente en plena obscuridad. Probablemente esa visión nunca será más que algo laboriosamente aprendido y de valor dudoso. Podemos suponer que toda la vida social del hombre, en sus manifestaciones normales, gira en torno del habla y que, si no se aprende a hablar en el momento adecuado, fracasará toda la parte social del individuo.

En resumen, el interés humano por el lenguaje parece ser un impulso innato por poner en código y descifrar, tan propio del hombre, al parecer, como el más humano de los impulsos. El habla es el mayor interés y el éxito más distinguido del ser humano.

Por ser hijo de un filólogo, mi educación abarcó mucho de esa ciencia, habiéndome interesado desde mi niñez las cuestiones que se refieren a la naturaleza y la técnica del habla. Es imposible que una teoría tan revolucionaria en lo lingüístico como la de las comunicaciones deje de influir en conceptos filológicos anteriores. Como mi padre fue un herético en su actividad propia, cuya influencia indujo a que su ciencia favorita emprendiera un camino bastante análogo al que le imprimen las mo-

dernas influencias de la teoría de las comunicaciones, deseo continuar este capítulo con algunas pocas observaciones de aficionado sobre la historia del lenguaje y la historia de nuestra teoría del lenguaje.

Desde tiempos muy antiguos, el hombre cree que el habla es un misterio. El enigma de la esfinge es un concepto de la sabiduría arcaica. Entre muchos pueblos primitivos la escritura y la magia no están muy lejos la una de la otra. El respeto por lo escrito llega tan lejos en algunas partes de China que la gente no quiere tirar los recortes de periódicos o los inútiles fragmentos de libros.

Muy cerca de estas manifestaciones está el fenómeno de la "magia de los nombres"; los miembros de ciertas culturas pasan del nacimiento a la muerte llevando apelativos que no son propiamente suyos, para no dar a un mago la ventaja de conocer el verdadero. El más familiar de esos casos es el nombre de Jehová, entre los judíos, cuyas vocales están tomadas del otro nombre de Dios: Adonaí, para que labios profanos no blasfemen al pronunciarlo.

De la magia de los nombres no hay más que un paso hasta un interés más científico por el lenguaje. Como análisis crítico de la autenticidad de las tradiciones orales o escritas, se remonta a los períodos más antiguos de todas las civilizaciones. Debe mantenerse la pureza de los libros sagrados. Cuando las lecturas no coinciden, es necesario que las resuelva algún comentarista crítico. La Biblia de los cristianos y los judíos, los libros sagrados de los persas y de los hindúes, los escritos budistas y los de Confucio tienen escoliastas primitivos. Lo que se aprendió para mantener la verdadera religión se convirtió en una disciplina literaria, y la crítica de los textos es una de las actividades intelectuales más antiguas.

Durante gran parte del siglo pasado, la historia de la filología se reduce a una serie de dogmas que a veces demuestran una sorprendente ignorancia de la naturaleza del lenguaje. Se tomó demasiado seriamente y sin el debido espíritu crítico el evolucionismo darvinista de aquella época. Comentaré este tema con

cierta latitud, pues todo él depende de manera muy íntima de nuestros puntos de vista sobre la naturaleza de las comunicaciones. Consideraré el asunto bastante detenidamente.

Las primitivas especulaciones según las cuales el hebreo fue el idioma hablado por el hombre en el Paraíso y la confusión de lenguas se inició en la Torre de Babel no pueden interesarnos aquí más que en cuanto son una primera etapa precursora del pensamiento científico. Sin embargo, el desarrollo posterior de los conceptos filológicos conservó durante mucho tiempo una ingenuidad análoga. Las mentes de gran agudeza filológica del Renacimiento no tardaron en observar que los idiomas están emparentados y que experimentan cambios que conducen a la larga a lenguas totalmente distintas. Un libro tal como el de Ducange: *Glossarium mediae atque infimae Latinitatis* no podría existir sin que fuera claro el origen de las lenguas romances y sin ver que sus raíces provienen no sólo del latín, sino del latín vulgar. Muchos eruditos rabinos deben haberse dado cuenta de la semejanza entre el hebreo, el árabe y el siríaco. Cuando, por consejo del tan calumniado Warren Hastings, la Compañía de las Indias fundó su Escuela de Estudios Orientales en Fort Williams, no se podía ya dudar de que el griego y el latín, por un lado, y el sánscrito, por otro, estaban cortados por el mismo patrón. Al principio del siglo XIX, las investigaciones de los hermanos Grimm y del danés Rask, no sólo demostraron que los idiomas germánicos caían dentro del grupo que dio en llamarse indoeuropeo, sino que además, dando otro paso adelante, aclararon las relaciones filológicas mutuas entre esas lenguas y con un supuesto y lejano antepasado común.

Así, el evolucionismo en filología es anterior al refinado evolucionismo darviniano de la biología. Siendo válido, muy pronto empezó a sobrepasar al biológico, allí donde este último no era aplicable. Suponía que los idiomas son entes independientes, casi biológicos, cuyo desarrollo está modificado enteramente por fuerzas y necesidades internas. De hecho, son epifenómenos del intercambio humano, sometidos a todas las fuerzas sociales debidas a cambios en esas relaciones.

Frente a la existencia de *Mischsprachen* [1], de hablas tales como la *lingua franca, el swahili, el iddisch, el chinook* y hasta en cierta medida, el mismo inglés, se ha intentado trazar el origen de cada idioma hasta un antepasado único legítimo, considerando que los otros participantes en su origen no son más que padrinos de la criatura. Existió una erudita distinción entre las formas fonéticas legítimas, que siguen leyes aceptadas, y accidentes tan deplorables como los vocablos de circunstancias, las etimologías populares y las jergas. Del lado gramatical, el intento original de imponer a todos los idiomas, cualquiera que fuere su origen, el chaleco de fuerza preparado para el latín o el griego, ha sido sucedido por otro, casi tan riguroso, de establecer, para cada lengua, sus propios paradigmas de construcción.

Hasta las recientes investigaciones de Otto Jespersen, apenas hubo filólogos con la suficiente objetividad para convertir su ciencia en una representación del idioma tal como se habla y escribe realmente y no en un simple método de enseñar a los esquimales a hablar en esquimal o a los chinos a escribir en chino. Los efectos de ese purismo gramatical desplazado se observan muy bien fuera de la escuela. Tal vez el primer caso entre ellos sea el modo como sus propios hijos mataron al latín, destino análogo al de la generación anterior de los dioses clásicos.

Durante la Edad Media, el latín de variable calidad, la mejor muy aceptable para cualquiera que no fuera un pedante, fue la lengua universal de la clerecía y de los eruditos en toda la Europa Occidental, así como el árabe lo es todavía entre los musulmanes. Este prolongado prestigio del latín provino de la buena disposición de los que escribían y hablaban esa lengua, sea para tomar prestado de otros idiomas o para construir dentro del latín mismo todo lo que era necesario para la discusión de los problemas filosóficos vivos de la época. El latín de Santo Tomás no es el de Cicerón; este último hubiera sido incapaz de discutir las ideas tomistas en su latín clásico.

[1] Interesa aquí también el aforismo de Einstein. Véase el capítulo II.

Podría pensarse que el auge de los romanos debió haber significado necesariamente el fin de la utilidad del latín. Pero no es así. En la India, a pesar del desarrollo de las lenguas derivadas del sánscrito, éste ha demostrado poseer una notable vitalidad que dura hasta el día de hoy. El mundo islámico, como ya hemos dicho, está unido por la tradición del árabe clásico, aunque la mayoría de los musulmanes no se expresen en ese idioma; el árabe hablado en nuestros días se ha disgregado en una serie de dialectos sumamente diversos. Una lengua que ya no se utiliza en la comunicación diaria puede seguir siendo durante generaciones y aun siglos el idioma de los eruditos. El hebreo moderno ha sobrevivido durante dos mil años al desuso en que había caído ya en tiempos de Cristo y, en realidad, ha vuelto a ser una lengua moderna de uso diario. En lo que sigue me refiero exclusivamente a la utilización limitada del latín como lengua de la gente culta.

Durante el Renacimiento, las normas artísticas de los latinistas subieron de tono, existiendo una creciente tendencia a prescindir de todos los neologismos postclásicos. En manos de los grandes eruditos italianos de la época, ese latín reformado podía ser, era a menudo, una obra de arte, pero el aprendizaje necesario para manejar una herramienta tan delicada y refinada como ésa, sobrepasaba el límite de lo que había de ser secundario en la formación del hombre de ciencia, que ha de preocuparse más por el contenido que por la belleza de la forma.

El resultado fue que los *maestros* del latín y los *usuarios* del mismo idioma se convirtieron en dos clases netamente separadas, hasta que los maestros renunciaron por completo a enseñar a sus discípulos lo que no fuera el más pulido e inútil lenguaje de Cicerón. En ese desierto, eliminaron cualquier función propia que no fuera la de un especialista y, como el latín, en cuanto disciplina autónoma, tenía una demanda cada vez menor, abolieron su propia actividad. Debemos pagar ahora este pecado de orgullo con la carencia de una lengua internacional adecuada suficiente para las necesidades de la vida moderna y muy superior a las artificiales, como el esperanto.

La actitud de los clasicistas está ¡ay!, a menudo, más allá del entendimiento del profano inteligente. Hace poco tiempo tuve la satisfacción de oir un discurso de iniciación de clases por un clasicista que se lamentaba de la creciente fuerza centrífuga de la cultura moderna, que aumenta la distancia mutua entre el naturalista, el sociólogo y el literato. Adoptó la forma de un viaje imaginario a través de una universidad como guía y mentor de un Aristóteles redivivo. Inició su charla poniendo en la picota trozos de la jerga de cada uno de los campos intelectuales modernos, que él suponía haber presentado al Estagirita como horribles ejemplos. Permítaseme observar que todo lo que poseemos de Aristóteles es lo que equivale a los cuadernos de notas de sus discípulos, redactados en una de las más enrevesadas jergas de la historia del mundo, completamente ininteligibles para cualquier griego contemporáneo que no hubiera sufrido la disciplina del Liceo. Carece de importancia que haya sido santificada por la historia, con lo que se ha convertido en una parte de la educación clásica, pues eso ocurrió después de Aristóteles y no en su época. Lo que importa es que el idioma griego de aquella edad estaba dispuesto a llegar a un compromiso con los tecnicismos de un gran filósofo, mientras que el inglés de sus eruditos y respetuosos sucesores no se presta a un compromiso con las necesidades del habla moderna.

Con estas palabras de advertencia previa, volvamos al moderno punto de vista, que asimila la operación de traducción idiomática y las emparentadas de la interpretación del lenguaje por el oído y el cerebro a la actividad y el acoplamiento de las redes de comunicaciones no-humanas. Se ve que eso está de acuerdo con las modernas ideas de Jespersen y su escuela, en un tiempo consideradas heréticas. La gramática ya no es primordialmente normativa, pues se ha convertido en una ciencia de hechos. La cuestión no consiste en saber qué código hemos de usar, sino cuál usamos. Es cierto que las cuestiones normativas muy delicadas desempeñan cierto papel. Sin embargo, son una fina flor tardía del problema de las comunicaciones y de ninguna manera sus etapas más fundamentales.

Así hemos establecido cuál es en el hombre la base del elemento más simple de sus comunicaciones: el lenguaje entre dos seres humanos cuando se encuentran frente a frente. La invención del teléfono, del telégrafo y de otros métodos similares demuestra que esa capacidad no requiere intrínsecamente la presencia inmediata del individuo, pues poseemos medios de llevar esa herramienta de la comunicación hasta los confines de la tierra.

En los grupos primitivos, la extensión de la comunidad a efectos de que haya una vida comunal efectiva está limitada por la dificultad de trasmitir el lenguaje. Durante muchos milenios, esta dificultad fue suficiente para reducir la dimensión óptima del Estado a unos pocos millones y en general a cifras menores. Se observará que los grandes imperios superiores en superficie a esos estrechos límites se mantenían unidos gracias a medios superiores de comunicación. El corazón del imperio persa era el camino real y los relevos de mensajeros que conducían las reales órdenes. La Roma imperial fue posible debido a los progresos en la construcción de carreteras, que servían no sólo para conducir las legiones de un lugar a otro, sino también para trasmitir las órdenes escritas del emperador. Con el aeroplano y las radiocomunicaciones, la palabra de los gobernantes se extiende hasta los confines de la tierra, habiendo desaparecido muchos de los factores que anteriormente hacían imposible la existencia de un Estado mundial. Puede asegurarse que las comunicaciones modernas, con la obligación de distribuir internacionalmente las frecuencias en radiotelefonía y organizar las redes de las compañías de aviación, han conducido a que ese Estado mundial sea inevitable.

Pero por muy eficaz que sea el sistema de comunicaciones, como ya hemos visto, está siempre sometido a la abrumadora tendencia al aumento de la entropía, a que se produzcan infiltraciones en el tránsito, a menos que se introduzcan desde lo externo agentes de regulación. Ya he tenido ocasión de referirme a una interesante consideración del lenguaje que proviene de un filólogo que coincide con las ideas de la cibernética. Se-

gún él, el idioma es un juego entre el que habla y el que escucha contra las fuerzas de la confusión. Basándose en esa definición, el doctor Benoit Mandelbrot ha hecho algunos cálculos respecto a la distribución de la longitud de las voces en un lenguaje óptimo y los ha comparado con los encontrados en las lenguas vivas. Sus resultados indican que una lengua óptima según ciertos postulados poseerá una distribución bien definida de la longitud de sus voces. Esta distribución es completamente distinta de la que se encuentra en lenguas artificiales como el esperanto o el volapük. Por otra parte se acerca mucho a la que aparece en las lenguas vivas que han resistido durante siglos al desgaste. Es cierto que los resultados de Mandelbrot no dan una distribución absolutamente fija de la longitud de las voces; en sus fórmulas aparecen ciertas cantidades a las que debe atribuirse un valor: son lo que los matemáticos llaman *parámetros*. Sin embargo, mediante una elección juiciosa de ellos, los resultados teóricos de Mandelbrot coinciden muy exactamente con la distribución de las voces en muchas lenguas vivas, de lo que se deduce la existencia de una cierta selección natural entre ellas y que la forma del lenguaje que sobrevive, por el mismo hecho de su utilización y supervivencia, ha debido adoptar una estructura que se asemeja bastante a una forma óptima de distribución.

El desgaste del idioma puede deberse a varias causas. Es posible que el lenguaje luche contra la tendencia natural a la confusión o contra el intento humano consciente de cambiar su sentido.[1] El discurso normal que pretende comunicar algo, cuyo mayor opositor es la tendencia entrópica de la misma naturaleza, no se encuentra frente a un enemigo activo, consciente de sus propios propósitos. El discurso forense, en cambio, tal como aparece en las cortes de justicia, en los cuerpos legislativos, etc., encuentra una oposición mucho más formidable, cuyo propósito consciente es aminorar su sentido y hasta destruirlo. Así, pues, una teoría adecuada del lenguaje en cuanto juego

[1] En alemán en el original: idiomas mestizos o mezclados. *(N. del T.)*

debe distinguir entre estas dos variedades del habla: una que se propone primordialmente proporcionar una información y otra que pretende imponer un punto de vista contra una oposición consciente. No sé si algún filólogo habrá hecho las observaciones técnicas necesarias para distinguir estas dos clases de lenguaje en lo que respecta a nuestros fines, pues estoy plenamente convencido que son formas esencialmente distintas. En otro capítulo, en el que trato las relaciones entre la lengua y la ley, me ocuparé más extensamente del idioma forense.

El deseo de convertir la cibernética de la semántica en una disciplina para regular la pérdida de sentido en el lenguaje ha conducido ya a ciertos problemas. Parece necesario establecer alguna distinción entre la información tomada en bruto y francamente y la otra y esa otra información conforme a la cual los seres humanos, o *mutatis mutandis*, las máquinas pueden actuar efectivamente. En mi opinión, la diferencia capital y la dificultad provienen de que lo importante para la acción no es la cantidad de información, sino la proporción de ella que puede penetrar en un aparato de comunicación y acumulación en forma que sirva de estímulo a la actividad.

Ya he dicho que cualquier trasmisión o manejo de los mensajes disminuye la cantidad de información que contienen, a menos que se agreguen otras, sea mediante nuevas sensaciones o recuerdos que habían quedado excluidos previamente del sistema informativo. Ya hemos visto que esta afirmación es otra manera de expresar la segunda ley de la termodinámica. Consideremos un sistema informativo; por ejemplo, el utilizado para regular una central eléctrica como la que se ha descrito al principio de este capítulo. Lo que importa no es simplemente la información que enviamos por la línea, sino lo que queda de esa información cuando pasa por la etapa final para abrir o cerrar compuertas, sincronizar los alternadores y efectuar tareas similares. Puede considerarse esa etapa final como un filtro, colocado en la línea de trasmisión. La información significativa, desde el punto de vista cibernético, es la que pasa a través del sistema línea-filtro, no la trasmitida por la línea. En otras pala-

bras, cuando oigo un trozo de música, la mayor parte del sonido llega a mis sentidos y de ahí al cerebro. Si carezco de la percepción y de la educación necesaria para el entendimiento estético de la estructura melódica, esa información se encontrará con un obstáculo. Pero si soy un músico educado, esa partitura encontrará una organización interpretativa que me la mostrará en una forma plena de significado, pudiendo conducir a una apreciación estética y a un entendimiento ulterior. La información semánticamente significativa, en la máquina o en el ser humano, es la que llega a un mecanismo activante del sistema que la recibe, a pesar de las tentativas del hombre, de la naturaleza o de ambos, para viciarla. Desde el punto de vista de la cibernética, la semántica define la cantidad de significado y regula su pérdida en los sistemas de comunicaciones.

V

LA ORGANIZACIÓN COMO MENSAJE

Este capítulo contiene un elemento de fantasía. Ella ha estado siempre al servicio de la filosofía y el mismo Platón no se avergonzó de vestir su epistemología con la metáfora de la cueva. Entre otros, el doctor J. Bronowski ha insistido en que la matemática, considerada por la mayoría de nosotros como la más rigurosa de todas las ciencias, constituye la más colosal metáfora imaginable y debe ser juzgada estética e intelectualmente en vista del éxito de ese mismo esfuerzo de la imaginación.

La metáfora a la que dedico este capítulo es aquella en la cual se considera al organismo como un mensaje. El primero se opone al caos, a la desintegración, a la muerte, así como el segundo al ruido. Para describir un organismo, no intentamos especificar cada una de sus moléculas y catalogarlo trozo por trozo; por el contrario, respondemos a ciertas cuestiones acerca de él reveladoras de su estructura, que adquiere un significado y una probabilidad mayor, a medida que, por decirlo así, el organismo tiene una organización más completa.

Ya hemos visto que algunos de ellos, como el hombre, tienden durante un tiempo a mantener —y a menudo consiguen elevarlo— el nivel de su organización como enclavados locales en una corriente general de creciente entropía, de caos creciente y de pérdida de la diferenciación. Aquí y ahora, la vida es una isla en un universo moribundo. El fenómeno mediante el cual nosotros, los seres vivientes, resistimos a la corriente

general de corrupción y decaimiento se conoce con el nombre de *homeostasis.*

Seguimos viviendo en el ambiente muy especial que conducimos con nosotros hasta que el proceso de autodestrucción es más rápido que el de reconstrucción. Entonces morimos. Si la temperatura de nuestro cuerpo asciende o desciende un grado por encima o por debajo de su nivel normal —37°—, nos damos cuenta de ello; la muerte es segura si esa temperatura aumenta o disminuye mucho sobre esa cifra. El oxígeno, el anhidrido carbónico, la sal en nuestra sangre, las hormonas segregadas por las glándulas de secreción interna, están sometidas a una regulación mediante mecanismos que se oponen a cualquier cambio inesperado de los niveles normales. Su conjunto constituye lo que ha dado en llamarse homeostasis; son dispositivos de retroalimentación negativa de la misma clase de la que son un ejemplo los mecanismos automáticos.

La estructura que conserva la homeostasis es la piedra de toque de nuestra identidad personal. Nuestros tejidos cambian, mientras vivimos: el alimento que ingerimos y el aire que respiramos se convierten en carne de nuestra carne y sangre de nuestra sangre; los componentes momentáneos de nuestro cuerpo escapan diariamente mediante las excreciones. Somos sólo remolinos en un río de agua perennemente corriente. No somos una materia que permanece, sino organizaciones que se perpetúan.

Una estructura es un mensaje y puede trasmitirse como tal. ¿De qué manera empleamos la radiotrasmisión sino para trasmitir estructuras sonoras y nuestras emisoras de televisión sino para enviar otras luminosas? Divierte e instruye considerar lo que ocurriría si trasmitiéramos toda la estructura del cuerpo, del cerebro humano con sus recuerdos y conexiones entrelazadas, de tal modo que un aparato receptor hipotético pudiera reencarnarlo todo en materia apropiada, capaz de continuar los procesos en cuerpo y alma y de mantener la integridad necesaria para esa prolongación mediante la homeostasis.

Pasemos al campo de la fantaciencia. Hace unos cuarenta

y cinco años Kipling escribió un cuento notable. Lo hizo cuando los vuelos de los hermanos Wright empezaban a ser conocidos, aunque la aviación no era aún cosa de todos los días. Intituló el relato: "Con el correo nocturno" y se da como un informe de un mundo tal como el de nuestros tiempos, pero cuando la aeronáutica será cosa corriente y el Atlántico un lago para cruzarlo en una noche. El autor supuso que los viajes por el aire unirían de tal modo las diversas partes del planeta que la guerra habría pasado de moda y que todos los asuntos importantes se decidirían en una Comisión de Tránsito Aéreo cuya primera responsabilidad sería el transporte por aire y la segunda "todo lo que está relacionado con ello". De esa manera, se imaginó el autor que las diversas autoridades locales irían perdiendo sus derechos o dejarían de ejercerlos y que la autoridad central del comité se haría cargo de esa responsabilidad. El cuadro que pinta Kipling es casi fascista, lo que es fácil de entender en vista de su punto de partida, aunque esa forma política no es una condición necesaria de la situación que encara. Su utopía es el milenio de un coronel inglés que ha vuelto de la India. Además, con su amor por la máquina como una colección de ruedas que giran y hacen ruido, insiste en el transporte de cosas físicas, más que en la trasmisión del lenguaje y de las ideas. No parece comprender que el poder de un hombre, aun su existencia física, llegan al punto hasta donde se extiende su palabra y su poder de percepción. Ver todo el mundo y darle órdenes es casi lo mismo que estar en todo él. Sin embargo, aun con sus limitaciones, Kipling tiene la intuición de un poeta y la situación que previó parece próxima a nosotros.

Para ver la mayor importancia que tiene la trasmisión de informes en comparación al transporte de cosas físicas, consideremos el caso de un arquitecto que vigila desde Europa la construcción de un edificio en los Estados Unidos. Supongo naturalmente que en el lugar de la obra existe un plantel adecuado de constructores, empleados, obreros, etc. En esas condiciones, sin trasmitir ni recibir ninguna cosa material, el arquitecto puede vigilar la construcción del edificio. Dibujaría sus

planos y especificaciones como es usual. Incluso ahora, no hay ninguna razón para que las copias del proyecto en poder del constructor sean las mismas dibujadas en el salón del arquitecto. Existen métodos para trasmitir en una fracción de segundo fotografías que serán para los capataces tan buenas como el original. Se mantendrá al proyectista al corriente de los progresos de la obra mediante fotografías, una o varias por día, que podrá recibir análogamente por telefotografía. Cualquier advertencia o consejo que desee dar a su representante en el lugar de la obra, podrá trasmitirse por teléfono, por telefotografía o por teletipo. Es decir, que el traslado del arquitecto y sus dibujos puede reemplazarse por una trasmisión de mensajes que no signifiquen el transporte de una partícula de materia de un lugar a otro.

Si consideramos los dos tipos de comunicación ya descritos: transporte de materiales o sólo transporte de información, es posible actualmente para una persona ir de un lugar a otro sólo mediante el primero y no por el segundo, como mensaje. Sin embargo, aun actualmente el envío de mensajes sirve para prolongar los sentidos del hombre y su capacidad de acción de un extremo a otro del mundo. Ya hemos sugerido al principio de este capítulo que la distinción entre el transporte de material y el de información en sentido teórico no es permanente y tampoco infranqueable.

Esto nos conduce profundamente a la cuestión de la individualidad humana. El problema de su naturaleza y de la barrera que separa un ser humano de otro es tan viejo como la historia. La religión cristiana y sus antecesores mediterráneos la incorporaron en la noción de *alma.* El individuo posee una, dicen los cristianos, creada en el momento de la concepción, que continuará su existencia por toda la eternidad, entre los bienaventurados o los condenados o en el limbo, como enseña su fe.

El budismo sigue una tradición que coincide con la cristiana en conceder al alma la existencia después de la muerte, aunque esta existencia prosigue en el cuerpo de otro ser humano o animal y no en algún cielo o infierno, que existen también, según

las enseñanzas de esta doctrina, aunque sólo como residencia temporal. Sin embargo, el cielo final del budismo, el estado de nirvana, consiste en la absorción del alma individual dentro del gran espíritu del universo.

Esas consideraciones han carecido del influjo de la ciencia. La exposición científica primitiva más interesante acerca de la continuidad del alma es la de Leibnitz; cree este filósofo que el alma pertenece a una clase muy amplia de sustancias espirituales permanentes que llamó *mónadas*. Emplean toda su existencia, desde la creación, en la percepción mutua; para algunas, ese acto es distinto y muy claro, para otras es confuso y deforme. Sin embargo, ello no representa ninguna verdadera interacción, pues "no tienen ventanas" y recibieron un impulso de manos de Dios al crear el mundo, por lo que mantienen durante toda la eternidad su relación mutua preestablecida. Son indestructibles.

Detrás de las teorías filosóficas de Leibnitz acerca de las mónadas, se encuentran algunas interesantes especulaciones biológicas. En su época, Leeuwenhoek aplicó por primera vez el microscopio simple al estudio de los más pequeños animales y plantas. Entre los primeros observó los espermatozoides que, en los mamíferos, son mucho más fácilmente visibles que los óvulos. Éstos se producen uno por vez; los uterinos no fecundados o los embriones en fase muy inicial eran hasta hace muy poco tiempo piezas raras en las colecciones anatómicas. Así los primeros microscopistas se sintieron tentados a pensar que el espermatozoide es el único elemento importante en la formación del nuevo ser, ignorando la posibilidad de la fecundación, fenómeno inobservado hasta aquellos tiempos. Además su imaginación proveyó al segmento anterior del espermatozoide con un feto diminuto, encogido y con la cabeza hacia adelante. Se suponía que el feto contenía en sí mismo espermatozoides que se desarrollarían en otras generaciones de fetos y adultos, y así hasta el infinito. El papel de la hembra de la especie consistía sólo en alimentar el nuevo ser hasta el parto.

Naturalmente, desde el punto de vista moderno, toda esta

biología es falsa. El espermatozoide y el óvulo determinan casi en partes iguales la herencia de cada individuo. Además contienen las células germinativas de la futura generación *in posse* y no *in esse.* La materia no es indefinidamente divisible; ni siquiera, desde un punto de vista absoluto, es muy finamente divisible; la disminución sucesiva de tamaño para formar los espermatozoides de Leeuwenhoek de un orden moderadamente elevado, nos llevaría rápidamente más allá del nivel del electrón.

De acuerdo con las ideas que prevalecen actualmente, opuestas a las de Leibnitz, la continuidad de un individuo tiene un principio bien definido en el tiempo, pero puede cesar, prescindiendo por completo de la muerte del ser. Se sabe muy bien que la primera división celular del óvulo fecundado de la rana conduce a dos células que pueden separarse en condiciones apropiadas, cada una de las cuales se convierte en un animal completo. Esto no es más que el fenómeno normal de gemelos idénticos, en un caso en el cual la facilidad de llegar hasta el embrión es suficiente para permitir el experimento. Es exactamente lo mismo que ocurre en los gemelos idénticos humanos y es lo normal en aquellos armadillos que producen en cada parto cuatro gemelos idénticos. Así se producen además los monstruos dobles, cuando es incompleta la separación de los dos embriones.

El problema de los gemelos parecerá a primera vista menos importante de lo que es en realidad, pues no concierne a los animales o seres humanos provistos de lo que puede considerarse una inteligencia y un alma bien desarrolladas. En lo que a esto respecta, ni siquiera el problema de los monstruos dobles, de los gemelos imperfectamente separados, es demasiado serio. Los que son viables deben tener o un sistema nervioso central único o un par de cerebros aislados en buen estado de desarrollo. La dificultad aparece en otro nivel, en el problema de la doble personalidad.

Hace unos treinta años, el doctor Morton Prince, de la Universidad de Harvard, publicó el historial clínico de una mujer,

en cuyo cuerpo parecían sucederse las unas a las otras varias personalidades más o menos desarrolladas y coexistir hasta un cierto límite. Actualmente, es moda entre los psiquíatras arrugar algo la nariz cuando se menciona esa publicación, atribuyendo el fenómeno a la histeria. Es muy posible que la separación de las personalidades no haya sido tan completa como parece haberlo pensado el doctor Prince, pero de todas maneras existía una distancia entre ellas. La voz "histeria" indica un fenómeno bien conocido por los médicos, pero carece de tal modo de explicación que puede considerarse como un epíteto más de los que encierran una petición de principios.

En todo caso, hay un punto claro. La identidad física de un individuo no consiste en la materia de que está compuesto. El método moderno de utilizar elementos trazadores radiactivos, que toman parte en el metabolismo, ha demostrado una desasimilación mayor de lo que antes se creía posible, no sólo del cuerpo en su totalidad, sino de todos y cada uno de los componentes del mismo. La individualidad biológica de un organismo parece consistir en una cierta continuidad del proceso y en la memoria orgánica de los efectos de su desarrollo pasado. Esto parece ser cierto también del crecimiento mental. Comparándola con las máquinas de calcular, la individualidad de la inteligencia radica en la retención de sus tecleados, y recuerdos anteriores y en su continuo desarrollo a lo largo de líneas ya establecidas.

En esas condiciones, así como una máquina de calcular puede utilizarse como modelo para el tecleado de otra y así como el futuro desarrollo de ambas continuará siendo paralelo, excepto si se producen cambios en el tecleado y la experiencia, no hay ninguna incoherencia en suponer que un individuo puede bifurcarse o prolongarse en otras dos personalidades que compartan el mismo pasado, sin que ocurra una escisión similar en el cuerpo. Para utilizar nuevamente el lenguaje de las máquinas de calcular, una que estaba anteriormente ensamblada por completo, puede encontrarse en un momento dado con sus conexiones divididas en ensamblamientos parciales, con un grado ma-

yor o menor de independencia. Esto es una explicación plausible de las observaciones de Prince.

Además es posible imaginarse que dos grandes máquinas, separadas anteriormente, pueden acoplarse para formar desde ese momento otra única. Esto ocurre en la unión de las células germinativas, aunque tal vez no en lo que pudiera llamarse un nivel puramente mental. La identidad mental necesaria para el punto de vista eclesiástico de individualidad del alma no existe ciertamente en ningún sentido absoluto que sea aceptable para la Iglesia.

Recapitulando: la individualidad corporal es la de una llama más que la de una piedra, es una forma más que una sustancia. Esta forma puede trasmitirse, modificarse o duplicarse, aunque en lo que respecta a esto último sólo sabemos hacerlo en distancias muy cortas.

Cuando una célula se divide en dos o cuando uno de los genes, que conduce nuestro derecho de nacimiento mental y corporal, se subdivide, tenemos una separación de la materia que está condicionada por la capacidad del tejido viviente para duplicarse. Puesto que es así, no existe ninguna distinción absoluta entre el tipo de trasmisión que utilizamos para enviar un telegrama de país a país y los tipos de trasmisión que son posibles, por lo menos teóricamente, para trasmitir un organismo vivo, tal como un ser humano.

Admitamos que no es intrínsecamente absurdo, aunque esté muy lejos de su realización, la idea de viajar por telégrafo, además de poder hacerlo por tren o aeroplano. Naturalmente, las dificultades son enormes. Es posible evaluar algo así como la cantidad de información significativa que contienen los genes de una célula germinativa, determinando así la información hereditaria, en comparación con la adquirida por un aprendizaje, que posee un ser humano. Para que ese mensaje sea significativo ha de contener por lo menos tanta información como todos los tomos de la *Encyclopedia Britannica.* Efectivamente, si comparamos el número de átomos de carbono asimétrico de todas las moléculas de una célula germinativa con el número

de puntos y rayas necesarios para trasmitir esa obra, encontramos que los primeros suponen un mensaje enormemente mayor y su gigantesco carácter nos impresiona aun más al comprender las condiciones de su trasmisión telegráfica. Una exploración a fondo del cuerpo humano debe abarcar todas sus partes; naturalmente, al efectuarla, se tenderá a destruir los tejidos. Mantener la estabilidad de un organismo, mientras se aniquilan lentamente partes de él, con la intención de crearlas nuevamente en otro lugar utilizando un material distinto, significa disminuir su grado de actividad, lo que en la mayoría de los casos destruirá la vida en los tejidos.

En otras palabras, el hecho de que no podamos telegrafiar la estructura de un ser humano de un lugar a otro, parece deberse a dificultades técnicas, en particular a la de mantener la existencia de un organismo durante esa reconstrucción radical. En sí misma, la idea es altamente plausible. En cuanto al problema de la total reconstrucción del organismo vivo, sería difícil encontrar alguna más completa que la de la mariposa durante el período larval.

He expuesto estas cosas, no por un deseo personal de escribir un cuento de fantaciencia acerca de la posibilidad de telegrafiar un hombre, sino porque son cosas que pueden ayudarnos a comprender que la idea fundamental de las comunicaciones es la trasmisión de mensajes y que la trasmisión corporal de materia y mensajes es sólo un mismo camino imaginable de alcanzar ese fin. Conviene reconsiderar la demostración de Kipling acerca de la importancia del tránsito en el mundo moderno, desde el punto de vista de un tránsito consistente principalmente, no en la trasmisión de cuerpos humanos, sino en la trasmisión de información humana.

VI

EL DERECHO Y LAS COMUNICACIONES

Puede definirse el derecho como la regulación ética aplicada a las comunicaciones y al lenguaje como una forma de ellas, especialmente cuando ese aspecto normativo se encuentra en manos de alguna autoridad, lo bastante fuerte como para dar a sus decisiones una sanción social efectiva. Puede obtenerse la justicia, evitar las disputas o por lo menos llegar a un acuerdo, mediante el ajuste de los "acoplamientos" que unen la conducta de dos individuos distintos. Así la teoría y la práctica del derecho se componen de dos conjuntos de problemas: los de su propósito general, de su concepto de justicia; y los de la técnica mediante la cual se realizan esas ideas.

Empíricamente, los conceptos de la justicia que los hombres han mantenido durante la historia son tan diversos como las religiones o como las culturas reconocidas por los antropólogos. Dudo que sea posible justificarlos mediante alguna autoridad más alta que nuestro propio código moral, lo que es sólo otro nombre de nuestro concepto de justicia. Como partícipe de una cosmovisión liberal, cuyas raíces principales se encuentran en la tradición occidental, pero que se ha extendido a aquellos países de Oriente, poseedores de una rica historia en lo intelectual y moral y de los que, en realidad, he tomado mucho, sólo puedo enunciar lo que yo y los que me rodean consideramos necesario para la existencia de la justicia. Las mejores palabras para expresar esas condiciones esenciales son las de la Revolución Francesa: *Liberté, Egalité, Fraternité.* Ellas significan: la

facultad de cada ser humano para desarrollar libremente y en toda su extensión las posibilidades que encierra: la igualdad conforme a la cual lo que es justo para A y B sigue siéndolo cuando intercambian sus respectivas posiciones; y una buena voluntad entre los hombres que no tiene otros límites que los de la humanidad misma. Esos grandes principios de justicia significan y exigen que nadie, en virtud de la influencia especial de su posición, obligue a otros por la fuerza a hacer algo que no les convenga. La compulsión necesaria para el mantenimiento de la comunidad y del Estado deberá ejercerse de tal manera que no se produzca ninguna limitación innecesaria de la libertad.

Pero ni siquiera el máximo de decencia y de liberalismo podrá por sí mismo asegurar la existencia de un código legal equitativo y viable. Además de los principios generales de justicia, la ley debe ser tan clara que cada ciudadano pueda estimar de antemano sus derechos y deberes, aun cuando parezcan estar en conflicto con los de otros. Debe ser capaz de establecer con una certeza razonable lo que opinará un juez o un jurado en su posición. Si no puede hacer eso, el código legal, por muy bien intencionado que sea, no le permitirá llevar una vida libre de litigios y confusiones.

Consideremos el tema desde el más simple punto de vista: el del contrato. Aquí, A enuncia el compromiso de efectuar un cierto servicio que, en general, será de ventaja para B, mientras que éste a su vez se compromete a otro o a hacer un pago, ventajoso para A. Si se expresa claramente, sin ambigüedad, en qué consiste cada tarea y cada pago; si ninguna de las partes, para imponer su voluntad a la otra, aplica métodos que son extraños al contrato mismo, puede quedar al libre arbitrio de las partes decidir si el intercambio de servicios es equitativo o no. Si es claramente injusto, podemos suponer que por lo menos una de las partes contratantes está en situación de rechazar la totalidad del convenio. Sin embargo, es imposible esperar que determinen entre ellos el significado del contrato, si los términos empleados no tienen un significado establecido o si su

sentido varía de juzgado a juzgado. Por ello el primer deber de la ley consiste en cuidar que las obligaciones y los derechos de un individuo, en una cierta situación, carezcan de ambigüedad. Debe existir además una corporación dedicada a la interpretación legal; en lo posible, debe ser independiente de la voluntad y de la interpretación de las autoridades particulares consultadas. La reproducción de las situaciones es anterior a la justicia, pues sin aquélla, ésta última no existe.

De ahí se deduce por qué el precedente tiene un peso teórico en la mayoría de los sistemas legales y otro práctico en todos ellos. Existen algunos que pretenden basarse en ciertos principios abstractos de justicia. A esta clase pertenece el Derecho romano y sus descendientes, que forman gran parte de los sistemas legales de la Europa continental. Hay otros, como el inglés, en los que se asegura abiertamente que el precedente es la base principal del pensamiento jurídico. En ambos casos, ningún término legal nuevo tiene un significado completamente seguro hasta que tanto el término mismo como sus limitaciones hayan quedado establecidos en la práctica y esto es cuestión de precedente. Dejar de lado una decisión tomada en un caso anterior equivale a atacar la unidad de interpretación del lenguaje jurídico, produciendo *ipso facto* una causa de indeterminación y muy probablemente una injusticia ulterior. Toda decisión de un caso debe considerar la definición de los términos legales de acuerdo con los juicios pronunciados antes, y conducir naturalmente a otros nuevos. Toda frase debe considerarse de acuerdo con las costumbres del lugar y el campo de actividad al que pertenece. Los jueces a los que se confía la tarea de interpretar la ley deben llevar a cabo su tarea de tal modo que si el juez B reemplaza al juez A, ese cambio no pueda producir ninguna variación en las interpretaciones de costumbres o leyes por la corte. Naturalmente, esto seguirá siendo un ideal más que un *fait accompli,* pero, a menos que sigamos lo más estrechamente posible esa norma, tendremos un caos y, lo que es peor, una tierra de nadie donde la gente sin honradez se aprovechará de las diferencias en la posible interpretación de las leyes.

Todo esto es muy claro en cuanto a los contratos, pero se extiende muy lejos por otras ramas del Derecho, particularmente por el Derecho civil. Permítaseme un ejemplo: A, por negligencia de un empleado suyo B, causa un perjuicio a C en un objeto que pertenece a este último. ¿Quién carga con la pérdida y en qué proporción? Si todos conocen igualmente esas posibilidades de antemano, la persona que normalmente corre los mayores riesgos puede pedir un precio mayor por sus servicios y asegurarse así. Mediante ese procedimiento puede anular una gran parte de sus desventajas. El efecto general de ello consiste en repartir la pérdida entre toda la comunidad, de modo que ninguno se arruine. Así la ley de la compensación legal tiende a compartir algo de la naturaleza de la de contratos. Cualquier responsabilidad legal que implique posibilidades exorbitantes de pérdida inducirá generalmente a la persona sometida a ella a traspasar su riesgo a la comunidad en forma de precios más elevados por sus mercancías o de honorarios más altos por sus servicios. Aquí, así como en el caso de los contratos, la carencia de ambigüedad, los precedentes y una traducción de las interpretaciones son mucho más valiosas que la equidad teórica, particularmente al atribuir responsabilidades.

Naturalmente, hay excepciones. Por ejemplo: la ley según la cual se encerraba en prisión al deudor no era equitativa, pues colocaba al responsable en una posición en la que era menos capaz que nunca de adquirir los medios para pagar. Muchas leyes actuales no lo son tampoco, pues, por ejemplo, presuponen una libertad de elección en una de las partes que no existe en las condiciones sociales reinantes. Lo que se ha dicho acerca de la prisión por deudas es igualmente válido para el sistema de hacer pagar al deudor con su trabajo y muchas otras costumbres sociales igualmente abusivas.

Si hemos de llevar a la realidad una filosofía de libertad, igualdad y fraternidad, además de exigir que la responsabilidad carezca de ambigüedad, es necesario que, por su naturaleza, no obligue a una de las partes a obrar bajo fuerza, quedando la otra libre. La historia de nuestros tratados con los indios está

llena de ejemplos de esta clase, en relación tanto con los peligros de la fuerza como con los de la ambigüedad. Desde la etapa más primitiva de la colonia, los aborígenes carecieron del número o de las armas para tratar con los blancos en un pie de igualdad, especialmente cuando se negociaban los llamados tratados de tierras entre europeos e indígenas. Además de esa gran injusticia legal, había otra semántica, probablemente mayor. Siendo pueblos de cazadores, los indios no poseían el concepto de la tierra como dominio privado. Para ellos no existía la propiedad pura y simple, aunque tenían el concepto de caza sobre territorios limitados. En sus tratados con los colonos, lo que deseaban acentuar eran los derechos de caza y, en general, sólo derechos de caza concomitantes sobre ciertas regiones. Por otra parte, los blancos creían, si hemos de interpretar su conducta a la luz más favorable posible, que los indios cedían los títulos de posesión. En esas circunstancias, no era posible ni siquiera la apariencia de la justicia, ni tampoco existió.

La jurisprudencia de los países occidentales es particularmente poco satisfactoria en el Derecho penal. La ley parece considerar el castigo como una amenaza para disuadir de otros posibles actos delictuosos, como un acto ritual de expiación por parte del culpable y como un medio para eliminar al delincuente de la sociedad y de proteger a ésta del peligro de delitos repetidos y, finalmente, como método para la reforma social y moral del individuo. Son cuatro tareas diferentes que deben llevarse a cabo por cuatro métodos distintos; a menos que conozcamos un camino exacto de conseguirlos, toda nuestra actitud frente al criminal será contradictoria. Por el momento, el código penal habla ahora en un lenguaje y después en otro. Hasta que nosotros, componentes de la comunidad, hayamos decidido qué deseamos, si la expiación, la supresión, la reforma o el castigo ejemplar, no conseguiremos ninguno de ellos, sino sólo una confusión en la que el crimen engrendrará más y más delitos. Cualquier código formado en una cuarta parte por la parcialidad de los ingleses del siglo XVIII a favor de la horca, en otro cuarto por la tendencia a retirar el criminal de la socie-

dad, en otro cuarto por la política indecisa de reforma y en otro cuarto por la norma de exhibir el cadáver de un cuervo para asustar a los demás, no nos llevará a ninguna parte.

Expresémoslo de la manera siguiente: el primer deber de la ley, cualquiera que sea el segundo o el tercero, es saber lo que quiere y el del juez o del legislador consiste en afirmaciones claras, sin ambigüedad, que no sólo los expertos, sino cualquier persona de la época interprete de manera unívoca. La exégesis de las sentencias anteriores debe ser tal que un abogado sepa, no sólo lo que dijo la corte, sino aun con mayor probabilidad lo que va a decir. Así los problemas de la ley deben considerarse como comunicativos y cibernéticos, es decir, son problemas de regulación ordenada y reproducible de ciertas situaciones críticas.

Existen amplios campos jurídicos en los que no hay un acuerdo semánticamente satisfactorio entre lo que la ley quiere decir y la situación real que considera. En cuanto no existe tal acuerdo, tenemos la misma tierra de nadie que encontramos cuando coexisten dos sistemas monetarios sin una base aceptada de cambio. En la zona de disconformidad entre un tribunal y otro, entre una moneda y otra, se refugia el intermediario sin honradez, que no acepta ningún pago monetario o moral sino en el sistema que más le conviene y que sólo hará sus pagos en el que le cuesta menos. La oportunidad máxima del criminal en la sociedad moderna radica en su posición de intermediario inescrupuloso en los intersticios de la ley. Ya he dicho en un capítulo anterior que el ruido, considerado como un factor de confusión en las comunicaciones entre seres humanos, es perjudicial, pero carece de malicia consciente. Esto es cierto en lo que respecta a las comunicaciones científicas y en gran parte se aplica a la conversación corriente entre dos personas. Pero es absolutamente falso en lo que respecta al lenguaje que se utiliza en las cortes de justicia.

Toda la naturaleza de nuestro sistema legal es la de un conflicto. Es una conversación en la que hablan por lo menos tres partes; en un juicio civil, por ejemplo, el demandante, el de-

mandado y el sistema legal representado por el juez y el jurado. Es un juego que coincide plenamente con el sentido que Von Neumann da a esa voz; un juego en el que los litigantes intentan poner de su parte al juez y al jurado mediante métodos que están limitados por el código legal. En ese juego, el abogado de la parte contraria, a diferencia de la naturaleza, puede y deliberadamente trata de introducir la confusión en los mensajes de sus opositores. Intenta convertir sus declaraciones en cosas sin sentido y conscientemente interfiere los que se cruzan entre la otra parte y el juez o el jurado. En esas interferencias, es inevitable que el *bluff* se lleve en ocasiones la palma. No hace falta tomar por su valor escrito las novelas policiales de Eric Stanley Gardner, en cuanto descripciones de la técnica jurídica, para ver que hay en los litigios ocasiones en las que el *bluff,* o sea, el envío de mensajes con el deliberado propósito de ocultar la estrategia propia del emisor, no sólo está permitido, sino también fomentado.

VII

LAS COMUNICACIONES, EL SECRETO Y LA POLÍTICA

En el mundo de los negocios, los últimos años se han caracterizado por dos tendencias opuestas y hasta contradictorias. Por una parte, poseemos una red de comunicaciones intranacional e internacional más completa que cualquier otra en la historia. Por otra parte, bajo los ataques del senador Mc Carthy y de sus imitadores, se ha dado en considerar secreta, ciegamente y sin imponer límites, gran parte de la información militar, lo cual, junto con las acusaciones contra el Departamento de Estado, nos lleva a un culto del secreto cuyo único paralelo en la historia es la Venecia del Renacimiento.

Entonces, al servicio extraordinariamente exacto de obtención de informaciones de los embajadores de la Señoría, que forma una de nuestras principales fuentes de historia europea, acompañó un celo nacional tan extremado por el secreto que el Estado ordenó el asesinato, en forma privada, de los artesanos emigrantes, para mantener el monopolio de ciertas artes y manualidades escogidas. Este moderno juego de ladrones y policías que parece distinguir tanto a Rusia como a los Estados Unidos, las dos principales aspirantes a la hegemonía mundial de este siglo, recuerda el antiguo melodrama italiano de capa y espada, sólo que se desarrolla en un escenario más vasto.

La Italia del Renacimiento fue testigo de los dolores de parto de la ciencia moderna. Sin embargo, la ciencia actual es una empresa más gigantesca que la de la península de aquella época. Debería ser posible examinar todos los elementos de in-

formación o de secretos en el mundo moderno con una madurez mayor, con objetividad más grande que la del pensamiento de los tiempos de Machiavelli. Esto es particularmente cierto en vista de que, como hemos visto, el estudio de las comunicaciones ha alcanzado ya un alto grado de independencia y autoridad que lo convierten en una disciplina por derecho propio. ¿Qué dice la ciencia moderna acerca de la situación y la función de las comunicaciones y el secreto?

Escribo este libro principalmente para los ciudadanos de los Estados Unidos, en cuyo ambiente las cuestiones de información serán evaluadas con el criterio normal, propio de este pueblo: una cosa vale en cuanto puede producir algo en un mercado abierto a todos. Esto es la doctrina oficial de una ortodoxia cuya discusión se hace cada vez más peligrosa para una persona que reside en ese país. Quizás convenga observar que eso no representa una base universal de valores humanos, pues no corresponde ni a la doctrina de la Iglesia, que busca la salvación del alma, ni tampoco a la del marxismo, que estima una sociedad en cuanto consigue ciertos ideales específicos de bienestar. El destino de la información en un mundo típicamente americano consiste en venderla o comprarla.

No es mi tarea dilucidar si esa actitud mercantilista es moral o inmoral, grosera o sutil. Pero es mi deber demostrar que conduce a que se entienda mal y se trate inadecuadamente la información y sus conceptos asociados. Consideraré varios casos empezando por la ley de patentes.

El privilegio que se concede a un inventor es un monopolio limitado sobre el tema objeto de su descubrimiento y equivale a la concesión de una empresa concesionaria. Detrás de nuestras patentes y de las leyes que la definen, existe una filosofía implícita de la propiedad privada y de los derechos que la acompañan. Ello representa una aproximación bastante buena a la situación real en el período que ahora termina, cuando las invenciones provenían del taller y las efectuaban artesanos hábiles. No da ni siquiera una idea pasable de lo que es la invención actualmente.

Según la idea que reina en las oficinas de patentes, un artesano, por el sistema de acertar errando, conducido por lo que se llama generalmente habilidad mecánica, progresó desde una técnica conocida hasta otra etapa superior, materializada en un aparato especial. La ley distingue entre la ingeniosidad necesaria para formar esa nueva combinación y la que se necesita para descubrir nuevos hechos acerca del universo. Se llama a esto último el *descubrimiento de una ley natural;* en los Estados Unidos, así como en muchos otros países con prácticas industriales similares, la ley niega al descubridor el derecho de propiedad sobre cualquier ley natural que pueda descubrir. Se verá que, en una época, esa distinción era bastante práctica, pues el inventor del taller tenía su tradición y su educación, enteramente distintas de la del hombre de ciencia.

No ha de confundirse a Daniel Doyce, uno de los personajes de *Little Dorrit* de Dickens, con los miembros de la Sociedad Mudfog, que el mismo autor trata en otra parte. Dickens glorifica al primero, por ser el artesano con sentido común, con el pulgar ancho de un trabajador manual y la honradez del hombre que se encara con los hechos; la Sociedad Mudfog no es más que un alias ridículo de la Sociedad Británica para el Progreso de las Ciencias, que se había fundado poco antes. Dickens la describe como una asamblea de soñadores quiméricos e inútiles en un lenguaje que Swift no habría considerado inadecuado para describir a los proyectistas de Laputa.

Un laboratorio moderno de investigaciones, tal como el de la Bell Telephone Company, retiene el sentido práctico de Doyce y se compone de los biznietos de los miembros de la Asociación Mudfog. Si consideramos que Faraday fue un miembro notable pero típico de la primitiva Sociedad Británica para el Progreso de las Ciencias, está completa la cadena desde allí hasta los investigadores de nuestros días de la Bell Telephone Company, hasta Campbell y Shannon, pasando por Maxwell y Heaviside.

En los días primitivos de las invenciones modernas, la ciencia estaba muy adelantada en comparación con el artesano. El

cerrajero daba el tono de la habilidad mecánica. Según Watt un pistón encajaba en su cilindro cuando apenas podía meterse una fina moneda de seis peniques entre los dos. El acero era un producto de la artesanía para usarse en espadas y armaduras. Daniel Doyce tenía un camino muy largo que recorrer antes que un hombre de ciencia tan práctico como Faraday pudiera empezar a suplantarle. No es extraño que la política de Gran Bretaña, aunque se expresara por un órgano tan cegato como la Oficina de Circunlocución de Dickens, se dirigiera hacia el verdadero inventor, más que hacia los miembros de la Sociedad Mudfog. La familia Barnacle de burócratas hereditarios podía reducir a Doyce a una sombra, antes de cesar de mandarle de oficina en oficina, pero secretamente le temían como un representante del nuevo industrialismo que los desplazaba. No tenían miedo, ni respetaban, ni entendían a los caballeros de la Asociación.

En los Estados Unidos, Edison representa precisamente la transición entre Doyce y los miembros de la Sociedad Mudfog. Tenía mucho del primero y grandes deseos de parecerlo. Sin embargo, tomó mucho de sus colaboradores de la segunda. Su invención más notable fue la del moderno laboratorio de investigación industrial cuyo negocio es producir invenciones. La General Electric Company, la Bell Telephone Company, la Westinghouse siguieron sus huellas empleando centenares de hombres de ciencia, cuando Edison los tomaba por decenas. La invención llegó a convertirse en el resultado de una investigación cuidadosa y comprensiva efectuada por un equipo de hombres de ciencia, dejando de ser la intuición mecánica de un trabajador de taller.

Actualmente, la invención pierde su identidad como artículo comercial frente a la estructura intelectual general de las que están surgiendo. ¿Por qué algo es un artículo de fácil venta? La propiedad esencial es que pueda pasar de mano en mano reteniendo sustancialmente su valor y que varias unidades se combinen aditivamente del mismo modo como el dinero que se paga por ellas. La capacidad de conservación es una propie-

dad muy buena en un artículo de fácil venta. Por ejemplo: excepto muy pequeñas pérdidas, una cantidad dada de energía eléctrica es la misma en ambos extremos de la línea, por lo que no es un problema demasiado difícil establecer un precio justo para ella. Una situación similar se aplica a la ley de la conservación de la materia. Nuestras normas corrientes de valor son cantidades de oro, que es una sustancia particularmente estable.

La información, en cambio, no es tan fácil de conservar, pues, como ya hemos visto, la cantidad de ella que se comunica está relacionada con otra no-aditiva llamada entropía, de la que difiere por su signo algebraico y un posible factor numérico. Así como la entropía tiende a crecer espontáneamente en un sistema cerrado, la información tiende a decrecer; así como la entropía es una medida de desorden, la información es una medida de orden. Ninguna de ellas puede conservarse y ambas son igualmente inadecuadas para convertirse en artículos comerciales.

Al considerar la información o el orden desde el punto de vista económico, tomemos como ejemplo una joya de oro. Su valor se descompone en dos partes: una, la del metal, la otra, el dibujo. Cuando se vende una joya antigua, el valor firme es sólo el del metal. El segundo depende de muchos factores; la insistencia del vendedor, el estilo, la habilidad puramente artística, el posible valor histórico de la pieza en un museo y la resistencia del comprador.

Se ha perdido más de una fortuna por ignorar la diferencia entre esas dos clases de valores, el del oro y el del dibujo. El mercado de sellos de correo, de libros raros, del cristal Sandwich o de muebles Duncan Phyfe es enteramente artificial, pues además del placer real que la posesión de tales objetos proporciona a sus dueños, gran parte del valor del dibujo es propio, no sólo de la rareza del objeto mismo, sino de la existencia momentánea de un grupo activo que compite por él. Una depresión comercial que limite el número de posibles compradores dividirá ese valor por cuatro o cinco y un gran tesoro

se convierte en la nada, por carencia de interesados. Que cualquier otro capricho suplante al viejo en la atención de los futuros coleccionistas y el mercado caerá en el vacío. No existe ningún denominador común permanente, por lo menos mientras uno no se aproxime a los más altos valores estéticos. Hasta los precios que se pagan por los grandes cuadros reflejan de colosal manera el deseo del comprador de que se le tenga por persona rica y de amplios conocimientos artísticos.

El problema de la obra de arte como artículo comercial plantea una serie de problemas en la teoría de la información. En primer lugar, excepto en el caso del más mezquino coleccionista, que guarda permanentemente todos sus tesoros bajo llave, la posesión física de la obra de arte no es condición necesaria ni suficiente para gozar de ella. Existen algunas que, por su carácter, son más públicas que privadas; en lo que respecta a ellas, el problema de la propiedad carece de sentido. Difícilmente puede considerarse un fresco como un artículo negociable, así como tampoco el edificio sobre cuyos muros se le pintó. Quienquiera sea jurídicamente el dueño de la construcción debe compartir ese fresco con las pocas personas que lo visitan, por lo menos, y muy a menudo con todo el mundo. No puede meter esa obra de arte en una caja fuerte a prueba de incendios y observarla glotonamente después de una comida íntima para unos pocos *dilettanti*. Muy pocos frescos poseen el carácter privado o fortuito del pintado por Siqueiros en una cárcel mexicana, donde cumplía una sentencia por un delito político.

Basta con decir eso acerca de la posesión física de la obra de arte. Los problemas de la propiedad en lo artístico se encuentran a mayor profundidad. Consideremos el caso de su reproducción. Sin duda, es cierto que la apreciación artística más elevada es sólo posible en los originales, pero es igualmente cierto que un hombre puede lograr un gusto amplio y cultivado, sin haber visto nunca el original de una gran obra de arte; la mayor parte de la atracción estética de una creación artística se trasmite mediante buenas reproducciones. El caso de la música es similar. Aunque el oyente obtiene algo sumamente im-

portante en la apreciación de una ejecución musical, si está físicamente presente en ella, sin embargo, su preparación para comprenderla bien aumentará en tal forma escuchando buenas grabaciones que es difícil decir cuál de las dos es la experiencia más amplia.

Desde el punto de vista de la propiedad, la reproducción cae dentro de la ley de derechos de autor. Hay otras cosas que ninguna ley puede proteger y que plantean igualmente la cuestión de saber si un hombre es capaz de poseer en sentido efectivo una creación artística. Aquí se plantea el problema de la auténtica originalidad. Por ejemplo, durante el alto Renacimiento, era algo nuevo el descubrimiento de la perspectiva geométrica; un artista podía proporcionar un gran placer explotando hábilmente ese elemento en el mundo que le rodeaba. Dürero, Da Vinci y sus contemporáneos son ejemplos del interés que los más notables artistas de la época encontraban en ese procedimiento. Como el arte de la perspectiva, después de aprendido, pierde pronto su interés, eso, que en manos de los precursores era grandioso, está ahora a disposición de cualquier artista comercial sensiblero que produce calendarios de propaganda.

Lo que se ha dicho ya, vale más no repetirlo ahora; no puede juzgarse el valor informativo de una pintura o de una pieza literaria sin conocer lo que contiene y que no es fácilmente asequible al público en las obras contemporáneas o anteriores. Sólo la información independiente es aproximadamente aditiva. La derivada del copista de segundo orden está muy lejos de ser independiente de lo que le ha precedido. La historia de amor o el cuento policial convencional, el relato aceptable de mediano éxito se someten a la letra, pero no al espíritu de la ley de derechos de autor. Ninguna forma de ella puede impedir que a una cinta de éxito siga una avalancha de otras malas que explotan la segunda o la tercera capa del interés público por la misma situación emotiva. Tampoco hay manera de registrar una nueva idea matemática o una nueva teoría, tal como la selección natural, o algo análogo, excepto la prohibición de que se reproduzca la misma idea con las mismas palabras.

Repito que la prevalencia de los clisés no es un accidente sino que es inherente a la naturaleza de la información. Los derechos de propiedad en este caso experimentan la desventaja necesaria de que una información tiene que decir algo sustancialmente distinto del depósito común previo de información, si ha de contribuir a la información general de la comunidad. Aun en los grandes clásicos de la literatura y el arte ha desaparecido gran parte del obvio valor informativo, simplemente por ser archiconocido del público. Los niños y niñas en edad escolar no quieren leer a Shakespeare, pues les parece que es un conjunto de familiares proverbios. Sólo cuando el estudio de un autor de esta clase ha penetrado hasta una capa más profunda que la que ha sido absorbida por los clisés superficiales de la época, es posible restablecer con él una relación informativa y darle un nuevo y fresco valor literario.

Desde este punto de vista, es interesante la existencia de autores y pintores que, por sus amplias exploraciones de los caminos intelectuales y estéticos abiertos a una época dada, tienen una influencia casi destructora sobre sus contemporáneos y sucesores por muchos años. Un pintor como Picasso, que pasa por numerosos períodos y fases, termina diciendo todas esas cosas que su época tiene en la punta de la lengua y finalmente esteriliza la originalidad de sus contemporáneos y de los que son más jóvenes que él.

El público en general apenas tiene en cuenta las limitaciones intrínsecas del carácter de artículo de consumo que tienen las informaciones. El hombre de la calle cree que la función de un Mecenas consiste en comprar y acumular obras de arte en vez de fomentar su creación por los artistas de su propia época. De manera enteramente análoga, cree que es posible acumular los conocimientos científicos y militares del país en bibliotecas y laboratorios estáticos, así como es posible guardar en los arsenales las armas de la última guerra. Va aun más lejos y considera que la información obtenida en los laboratorios de su país es moralmente su propiedad y que su utilización por otras naciones, no sólo puede provenir de una traición, sino que in-

trínsecamente tiene los caracteres de un robo. No puede imaginarse la información sin un dueño.

Es falso creer que se puede acumular las informaciones en un mundo cambiante sin que experimenten una enorme depreciación en su valor. Es poco menos falso suponer que, después de una guerra, podemos tomar las armas que poseemos, llenar sus tubos con lubricantes, cubrir la parte externa con una capa de caucho obtenida por proyección y esperar el próximo caso de emergencia. En vista de los cambios de la técnica bélica, los rifles se conservan bastante bien, los tanques mal, los barcos de guerra y los submarinos no se conservan de ninguna manera. El hecho es que la eficacia de un arma depende precisamente de cuáles otras se le opondrán en un momento dado y de los conceptos de la táctica militar en ese momento. Como lo ha demostrado más de una vez la experiencia, ese amontonamiento excesivo de armas conduce a que se den tipos de conducta estereotipada, de técnica militar en forma equivocada, por lo que existe una ventaja apreciable en considerar el próximo caso de emergencia con la libertad de elegir exactamente la herramienta adecuada para hacerle frente.

En otro plano, el de la economía, esto es evidentemente cierto como lo demuestra el ejemplo británico. Inglaterra fue el primer país que pasó por una revolución industrial en gran escala; de aquella edad primitiva heredó la poca anchura de sus líneas ferroviarias, las grandes inversiones de sus hilanderías de algodón de anticuada maquinaria y las limitaciones de su sistema social, que han convertido las necesidades acumuladas de nuestros días en un caso de abrumadora emergencia que sólo podrán ser resueltas por lo que equivale a otra revolución social e industrial. Todo esto ocurre mientras los países nuevos que se industrializan pueden adquirir el equipo más moderno y económico, construir un sistema adecuado de ferrocarriles para transportar sus productos en vagones de un tamaño óptimo desde el punto de vista económico y, en general, vivir en la época actual y no atrasados en un siglo.

Lo que es cierto para Gran Bretaña vale también para la

Nueva Inglaterra. En esta última región se ha descubierto que es a menudo más caro modernizar una industria que darlo todo por perdido y empezar en otra parte. Prescindiendo de las dificultades de leyes industriales estrictas y de una política social avanzada, una de las razones por las cuales las fábricas textiles huyen de Nueva Inglaterra es que prefieren sentirse libres de una tradición centenaria. Así, pues, aun en las cuestiones más materiales, la producción y la seguridad son, a la larga, cuestiones que dependen del desarrollo y de continuas invenciones.

Las informaciones son más cuestión de proceso que de acumulación. Tendrá la seguridad máxima aquel país cuya situación informativa y científica sea adecuada para hacer frente a las demandas que se le presenten, aquel país en el cual se comprenda plenamente que la información tiene importancia en cuanto es una etapa en un proceso continuo de observación del mundo que nos rodea y de influencia sobre él. En otras palabras, la investigación científica, por mucho que se acumule y se guarde en libros y memorias, colocándolos después en estantes con etiquetas de "secreto", no nos protegerá adecuadamente por un lapso cualquiera en un mundo en el cual el nivel efectivo de información asciende continuamente. No existe una línea Maginot en lo cerebral.

Repito que vivir es participar en un flujo continuo de influencias que provienen del mundo exterior y en actuar sobre éste, en el que somos sólo una etapa de transición. En sentido figurado, vivir, en lo que se refiere a los hechos del mundo, significa participar en un desarrollo continuo del conocimiento y en un libre cambio del mismo. En cualquier situación normal, es mucho más difícil y mucho más importante para nosotros asegurarnos que tenemos ese conocimiento adecuado que convencernos de que algún posible enemigo *no* lo tiene. Toda la ordenación de los laboratorios militares de investigación está concebida según directivas hostiles a nuestro uso óptimo y a nuestro desarrollo de la información.

Durante la última guerra, apareció en mis investigaciones y por lo menos en otros dos proyectos completamente diversos

una ecuación integral cuya resolución se me debe en parte. En uno de esos dos proyectos, me di cuenta en seguida de que debía aparecer; en el otro, una ligera consulta hubiera debido inducirme a sospecharlo. Como esas tres aplicaciones de la misma idea se daban en tres proyectos militares totalmente diferentes, en los que el secreto se mantenía según criterios completamente diversos y en lugares distintos, no había ninguna posibilidad de compartir la información obtenida por los varios investigadores. Eso condujo a que se necesitase el equivalente de tres descubrimientos independientes para que el resultado fuera asequible en los tres casos. El retardo así producido fue de seis meses a un año y tal vez considerablemente mayor. Desde el punto de vista monetario, que naturalmente tenía menos importancia durante la guerra, importó un número considerable de horas por cada investigador, siendo altos los honorarios de cada uno. Un enemigo cualquiera hubiera tenido que hacer un uso considerablemente valioso de esas informaciones para que hubiera quedado compensada nuestra desventaja de tener que triplicar el trabajo. Recuérdese que un enemigo incapaz de participar en esas discusiones al margen del trabajo que ocurren ilegalmente, aun en las organizaciones en las que debe mantenerse el secreto, no hubiera podido valorar y utilizar nuestros resultados.

La cuestión del tiempo es esencial en todo cálculo del valor de una información. Por ejemplo: un código o método de cifrado en el que pueda expresarse una gran cantidad de información que deba mantenerse rigurosamente secreta, no sólo es una cerradura difícil de abrir, sino que además requiere un tiempo considerable para su desciframiento legítimo. La información táctica que es útil en los combates de pequeñas unidades será ciertamente inútil por anticuada en una hora o dos. Importa muy poco que el enemigo pueda descifrarla en tres horas, pero es trascendental que el oficial, al recibirla, pueda entenderla en dos minutos. Por otra parte, el plan detallado de una batalla es algo demasiado importante para confiarlo a esa seguridad tan limitada. Sin embargo, si un oficial necesita un

día entero para descifrarlo, la demora puede ser peor que una infidencia. Los códigos de cifras para toda una campaña o para una determinada política exterior pueden y deben ser más difíciles de leer, pero no existe ninguno que no pueda descifrarse en un plazo finito y que, al mismo tiempo, pueda aportar una cantidad significativa de información y no simplemente un conjunto inconexo de decisiones individuales.

El método corriente de desciframiento consiste en encontrar un ejemplo de utilización de la cifra lo suficientemente largo para que el investigador avezado vea claramente el sistema de código. En general, debe existir por lo menos un grado mínimo de repetición, sin lo cual los pasajes muy cortos no pueden descifrarse. Sin embargo, cuando un cierto número de pasajes han sido traducidos según una cifra que es común a todo el conjunto, aunque el método de cifrado varíe en detalle, puede existir un número suficiente de elementos comunes, entre los diferentes pasajes, que conduzcan al desciframiento, primero del tipo general de código y después de los particulares.

Probablemente gran parte de la máxima ingeniosidad en el desciframiento de códigos, se encuentre, no en los anales de los diferentes servicios de informaciónes, sino en los estudios de epigrafía. Todos sabemos que la piedra de Rosetta se descifró mediante una interpretación de ciertos signos de la versión egipcia que resultaron ser los nombres de algunos de los faraones de la dinastía de los Ptolomeos. Existe, sin embargo, un desciframiento que es todavía mayor. Este ejemplo máximo del arte de traducir al lenguaje sin clave consiste en desentrañar los secretos de la naturaleza misma y es el campo de actividad del investigador.

El descubrimiento científico consiste en la interpretación, para nuestra propia utilidad, de un sistema de existencia que ha sido creado sin tener en cuenta nuestra conveniencia. Resulta de ahí que la última cosa del mundo que puede protegerse mediante el secreto y un complicado sistema de cifras es una ley natural; además de la posibilidad de enterarse del secreto mediante un ataque directo sobre los depositarios de él, sean seres

humanos o documentos, existe siempre la de emprender el ataque hacia arriba, pasando por encima de ellos. Tal vez sea imposible inventar un código secundario tan difícil de descifrar como el natural del núcleo atómico.

Al descifrar, la información más importante que podemos poseer es saber que el texto que estamos leyendo tiene sentido. Un método común para desanimar a un especialista consiste en mezclar con el mensaje legítimo otro que no puede interpretarse, que carece de sentido, un simple conjunto de signos. Análogamente, cuando consideramos un problema en ciencias naturales, tal como las reacciones nucleares o los explosivos atómicos, lo más importante que podemos publicar acerca de ello es que son posibles. Si un investigador ataca un problema, en cuanto sabe que existe una respuesta, toda su actitud cambia. Ha avanzado ya casi la mitad del camino hacia la solución.

En vista de ello, es perfectamente correcto decir que el único secreto acerca de la bomba atómica que debió mantenerse y que se hizo público, sin la menor inhibición, llegando a todos los enemigos en potencia, fue el de la posibilidad de su construcción. Tómese un problema de esta importancia, asegúrese al mundo que tiene solución y, teniendo en cuenta que tanto la capacidad intelectual como los laboratorios están ampliamente distribuidos por el mundo, será cuestión de unos pocos años que en cualquier parte de la tierra se llegue a obtener lo mismo de manera casi independiente.

Actualmente, existe en los Estados Unidos una emocionante creencia según la cual ellos son los únicos poseedores de una cierta técnica que ha dado en llamarse *Know-how*, "saber cómo" [1], que no sólo ha de asegurarles la prioridad en el desarrollo científico y técnico y en todas las invenciones de mayor importancia, sino que además les concede un derecho moral a esa ventaja. Ciertamente, ello no tiene nada que ver con el origen nacional de los que trabajaron en proyectos como la bomba atómica. En ninguna época histórica hubiera sido posible ase-

[1] En el original *know-how*. Expresión de nuevo cuño aplicable a la técnica que exige conocimientos y medios especiales. *(N. del T.)*

gurarse los servicios combinados de investigadores tales como el danés Bohr, el italiano Fermi, el húngaro Szilard y muchos otros que colaboraron en la empresa. Lo hizo posible la conciencia del peligro y el sentido de vergüenza universal despertado por la amenaza nazi. Algo más que una hinchada propaganda será necesaria para mantener unido a ese grupo durante el largo período de rearme, al que a menudo parecen verse obligados los Estados Unidos por la política de su Departamento de Estado.

Sin duda, poseemos la técnica más desarrollada del mundo para combinar los esfuerzos de un alto número de investigadores y de grandes sumas de dinero en la realización de un proyecto único. Esto no debería conducirnos a ninguna satisfacción indebida en lo que respecta a nuestra posición científica, pues es igualmente claro que estamos educando una generación de jóvenes incapaces de pensar en algún proyecto científico sin el concurso de grandes cantidades de personal y de dinero. La habilidad con la cual los franceses e ingleses efectúan grandes investigaciones, con aparatos que el profesor de una escuela media en los Estados Unidos miraría despectivamente por considerarlos de fortuna, no se encuentra entre nuestros jóvenes sino en una minoría a punto de desaparecer. El actual auge de los grandes laboratorios es algo nuevo en la ciencia. Algunos de nosotros desean creer que no durará hasta ser una cosa antigua, pues cuando se agoten las ideas científicas de esta generación o, por lo menos, proporcionen resultados decrecientes en cuanto inversión intelectual, no creo que la próxima generación pueda proporcionar las ideas colosales sobre las que naturalmente los proyectos colosales se basan.

La aplicación a la investigación científica de una idea clara del concepto de información demostrará que la simple coexistencia de dos hechos informativos es de valor relativamente pequeño, a menos que puedan combinarse efectivamente en algún cerebro u órgano, capaz de fecundar al uno mediante el otro. Es algo enteramente opuesto a aquella organización en la que cada miembro sigue una trayectoria preestablecida, y

en la que los centinelas de la ciencia, cuando han llegado al final de su recorrido presentan armas, dan media vuelta y vuelven por donde han venido. Tienen un gran valor fecundante y revivificador las relaciones entre dos investigadores, pero eso sólo puede ocurrir cuando, por lo menos uno de los seres humanos, representantes de la ciencia ha cruzado la frontera y avanzado lo suficiente para ser capaz de absorber las ideas de su vecino dentro de un plan efectivo de pensamiento. El vehículo natural para este tipo de organización es un plan en el cual la órbita de cada investigador esté fijada por la amplitud de su interés y no por un campo predeterminado.

Esas organizaciones poco rígidas existen hasta en los Estados Unidos, pero por el momento representan el resultado del esfuerzo de unas pocas personas desinteresadas y de ninguna manera son la estructura planificada en la que nos meten a la fuerza los que se imaginan saber nuestra conveniencia. Sin embargo, de poco servirá que la masa de nuestra población científica reproche a sus superiores, ni siquiera a los que lo son por nombramiento propio, su futilidad y los peligros de nuestros días. Es el gran público el que pide el máximo secreto para la ciencia moderna, en todo lo que concierne a su aplicación militar. Esta demanda de sigilo es poco más que el deseo de una civilización enferma: no quiere enterarse de los progresos de su propio mal. Mientras podamos continuar pretendiendo que todo va bien en el mundo, cerraremos los oídos a "las voces ancestrales que profetizan la guerra".

En esta nueva actitud del público ante la investigación hay una revolución más vasta de lo que se imagina la gente. Los mismos grandes señores de la ciencia no prevén todas las consecuencias de lo que ocurre. En el pasado, la dirección de las investigaciones dependía del interés de cada estudioso y de las tendencias de la época. Actualmente, existe una tentativa muy clara de dirigir la investigación, en cuestiones que afectan a la seguridad nacional, de tal modo que, en cuanto sea posible, se avance por todos los caminos significativos con el objeto de crear una impenetrable barrera de protección científica. Pero

la ciencia es impersonal y el resultado de un avance no es mostrarnos sólo las muchas armas que podremos emplear contra posibles enemigos, sino además los peligros inherentes a ellas. Esto puede deberse a que son precisamente armas más efectivas contra nosotros que contra nuestros enemigos o peligros como los del envenenamiento radiactivo, inherentes a la utilización de un arma como la bomba atómica. La aceleración de la marcha de la ciencia, como consecuencia de la investigación activa y simultánea de todos los medios de atacar a nuestros enemigos y de defendernos nosotros mismos, conduce a demandas siempre crecientes de nuevos estudios. Por ejemplo: el esfuerzo concentrado de Oak Ridge y Los Álamos durante la guerra ha convertido el problema de la protección del pueblo de los Estados Unidos, no sólo contra los ataques de las armas atómicas de posibles enemigos, sino también contra las radiaciones de la nueva industria, en algo que nos interesa *ahora.* Si la guerra no hubiese ocurrido, esos *peligros* hubieran carecido de importancia hasta dentro de veinte años. En nuestra actual manera militarista de pensar, ello nos ha impuesto el problema de posibles medidas de defensa contra un nuevo empleo de esos agentes por el enemigo. En el momento, este enemigo puede ser Rusia, pero es aun más el reflejo de nosotros mismos en un espejismo. Para defendernos contra ese fantasma debemos encontrar nuevos métodos científicos, cada uno más terrible que el anterior. No tiene fin esta vasta espiral apocalíptica.

Ya hemos descrito los litigios como un verdadero juego en el cual los contrincantes pueden y están obligados a utilizar el *bluff* al máximo, desarrollando un plan de acción propio que tal vez tenga que prever la posibilidad de que sea óptimo el del contrario. Lo que es cierto en la guerra limitada de las cortes de justicia vale también para que aquella otra a muerte en las relaciones internacionales adopte la sangrienta forma del uso de las armas o la más suave de la diplomacia.

Toda la técnica de conservar un secreto, de interferir los mensajes y del *bluff* pretende asegurar que el lado por el que uno lucha quede en condiciones de utilizar las fuerzas y los

agentes de comunicación de manera más eficaz que el otro. En este uso combativo de los mensajes es tan importante mantener abiertos sus propios canales de información como impedir que el otro partido utilice los suyos propios. Un plan general de acción en materia de secreto debe prever muchas más cosas que el secreto mismo.

Nos encontramos en la posición del hombre que sólo tiene dos ambiciones en la vida. Una es inventar el solvente universal capaz de disolver cualquier sustancia sólida; la segunda es hallar el receptáculo universal capaz de contener todo líquido. Haga lo que hiciere, este inventor se sentirá defraudado. Además, como ya lo he dicho, si el mantenimiento de un secreto depende de la integridad humana, nunca estará tan seguro como cuando dependa de la dificultad de hacer un descubrimiento científico.

Ya he manifestado que la diseminación de un secreto científico cualquiera es sólo cuestión de tiempo y que, a la larga, no hay ninguna distinción entre armarnos y armar a nuestros enemigos. Así, pues, cada descubrimiento terrorífico nos esclaviza aun más a la necesidad de encontrar otros. Si nuestros conductores no se dan cuenta de ello, eso seguirá indefinidamente hasta que todo el potencial científico del país quede apartado de cualquier aplicación constructiva que satisfaga a las antiguas o nuevas necesidades de la especie. El efecto de esas armas tiene que incrementar la entropía del planeta hasta que todas las diferencias entre lo frío y lo caliente, lo bueno y lo malo, el hombre y la materia desaparezcan, al formarse el horno al rojo blanco de una nueva estrella.

Como otros tantos cerdos de Gadar, estamos poseídos por el demonio de nuestra época y la obligación de la guerra científica nos arroja de cabeza al océano de nuestra destrucción. O tal vez podamos decir que, entre los señores que, *motu proprio*, han decidido ser nuestros mentores y administran nuevos programas científicos, muchos no son más que aprendices de brujo, sometidos a la fascinación del sortilegio iniciador de un hechizo diabólico que no pueden detener. Hasta la nueva psico-

logía publicitaria y la técnica de ventas se convierten en sus manos en un camino para anular los escrúpulos de conciencia de los investigadores y para destruir sus posibles inhibiciones contra la carrera hacia ese abismo.

Que esos sabios que han proclamado una sanción demoníaca para sus propios propósitos particulares recuerden que, en el curso natural de las cosas, una conciencia comprada una vez estará al mejor postor en otra oportunidad. A la lealtad a la especie que puede subvertirse por la hábil distribución de prebendas administrativas, seguirá la fidelidad a los funcionarios superiores, que durará mientras haya algo que repartir. Podrá llegar el día en que éstos se conviertan en la mayor amenaza potencial a nuestra seguridad. En este momento, cuando alguna otra potencia, fascista o comunista, esté en situación de ofrecer las mayores recompensas, nuestros buenos amigos que han corrido a defendernos agarrados al presupuesto procederán con la misma rapidez a someternos y aniquilarnos. ¡Recuerden aquellos que han conjurado desde lo profundo el espectro de la guerra atómica que, por su propio interés, si no por el nuestro, no deben esperar más allá de los primeros éxitos de nuestros opositores para dar muerte a aquellos a quienes ya han corrompido!

VIII

EL PAPEL DEL INTELECTUAL Y DEL INVESTIGADOR

Este libro asegura que la integridad de los canales de comunicación es esencial para el bienestar de la sociedad. Por el momento las comunicaciones en el interior del país están sometidas no sólo a las mismas amenazas a las que ha debido hacer frente siempre, sino además a ciertos problemas nuevos y particularmente serios que son peculiares de nuestra época. Uno entre ellos es la creciente complejidad y costo de las comunicaciones.

Hace siglo y medio, aun hace cincuenta años, no importa la época, en el mundo y en los Estados Unidos, en particular, pululaban los periódicos pequeños y las imprentas modestas, gracias a lo cual casi cualquier persona podía obtener un auditorio. El editor de un periódico de cabeza de partido no estaba limitado como ahora a las habladurías locales, sino que podía expresar y a menudo expresaba su opinión individual, no sólo sobre temas lugareños, sino sobre asuntos de interés mundial. Actualmente esa libertad de expresarse se ha convertido en algo tan caro, al aumentar el precio de la maquinaria, del papel y de los servicios de las agencias, que un periódico consiste en el arte de decir cada vez menos cosas a un número creciente de personas.

Las películas pueden ser baratas en lo que respecta al costo de exhibición, para cada espectador, pero son tan terriblemente caras en total que muy pocas valen el riesgo, a menos que su éxito esté asegurado de antemano. No importa al empresario

que una producción pueda excitar gran interés en un número considerable de personas, sino saber si será inaceptable para tan pocas que pueda contar con venderla indiscriminadamente a los cines de un rincón a otro del país.

Lo que he dicho acerca de los periódicos y el cine se aplica igualmente a la radio, la televisión y hasta el negocio editorial. Vivimos en una época en la que a la enorme masa de comunicación por habitante corresponde un flujo cada vez menos denso de cantidad total de comunicación. Debemos aceptar cada vez más un producto inofensivo e insignificante que, como el pan blanco, se prepara más en vista de sus posibilidades de conservación y venta que de su valor nutritivo.

Esto es, fundamentalmente, una desventaja externa de las comunicaciones modernas, pero paralela a otra que las roe por dentro. Es el cáncer de la estrechez y debilidad creadoras.

En otros tiempos, el joven que deseaba participar algún día en la creación artística, podía iniciar directamente los estudios pertinentes a su actividad preferida o se preparaba para ella mediante una educación general, tal vez sin conexión con las labores específicas que habría de emprender en definitiva, pero que, por lo menos, era una disciplina indagadora de su habilidad y sus gustos. Actualmente están casi cerrados los caminos del aprendizaje. Nuestras escuelas primarias y secundarias están más interesadas en la disciplina formal del aula que en la intelectual de aprender algo a fondo; gran parte de la preparación seria para una carrera científica o literaria se relega a alguna especie de escuela para graduados.

Entretanto Hollywood ha descubierto que la misma normalización de su producto interfiere con el flujo natural de talentosos actores que provienen de la escena auténtica. Los teatros de repertorio casi habían desaparecido cuando volvieron a abrirse algunos de ellos para servir de criadero a los futuros talentos de Hollywood y aun ésos están en agonía. Una parte considerable de nuestros aspirantes a actores ha aprendido su profesión, no en las tablas, sino en cursos universitarios de dramaturgia. Como jóvenes, nuestros escritores no pueden ir muy

lejos en competencia con el material que ofrecen las agencias y, si no tienen éxito la primera vez, no pueden ir a otra parte sino a los cursos universitarios, en los que se supone que aprenderán a escribir. Así, los grados universitarios, ante todo el título de doctor en filosofía, que existe desde hace mucho tiempo como una preparación legítima para el especialista científico, sirven cada vez más de modelo para una educación intelectual en cualquier actividad.

Hablando con propiedad, el artista, el escritor y el hombre de ciencia deberían actuar movidos por un impulso tan irresistible de crear que, si no se les abonase su trabajo, estuvieran dispuestos a pagar para obtener la oportunidad de llevarlo a cabo. Sin embargo, vivimos en una época en la que los cursos han suplantado en gran parte al contenido educativo y en que éste tiende a diluirse cada vez más. Tal vez ahora se considera que obtener un título universitario y seguir lo que puede considerarse una carrera cultural es más cuestión de prestigio social que de algún impulso profundo.

En vista de la gran cantidad de aprendices a medio madurar que se arrojan al mercado, ha adquirido excepcional importancia el problema de darles algún material para que trabajen. En teoría deberían encontrarlo ellos mismos, pero el gran negocio de la educación progresista moderna no puede funcionar a tan baja presión. Así, las primeras etapas del trabajo creador en las artes o en las ciencias, etapas que deberían ser impulsadas por un intenso deseo de parte de los estudiantes de crear algo y de comunicárselo al mundo en general, se encuentran sometidas ahora a la exigencia formal de redactar una tesis de doctorado o alguna otra cosa parecida, propia de un aprendiz.

Algunos de mis amigos llegan a afirmar que la tesis doctoral debiera ser el trabajo científico más grande que un hombre realice o llegue a realizar en su existencia, por lo que cada cual debería esperar para redactarla a ser capaz de expresar las investigaciones que llevarán toda su vida. No estoy conforme con ese punto de vista. Quiero decir que, si no es efectivamente un trabajo excepcional, debería ser, por lo menos, en intención

el camino que conduce a una obra vigorosa y renovadora. Sólo Dios sabe cuántos problemas quedan por resolver, o libros por escribir, o partituras por componer. Sin embargo, para la gran mayoría, excepto para unos pocos, el camino pasa por la ejecución de tareas obligatorias, sin que en nueve de cada diez casos haya razón para hacerlas. ¡Dios nos guarde de la novela primeriza, compuesta por un joven que busca el prestigio de ser escritor, sin tener en realidad nada que decir! ¡Dios nos guarde de las memorias matemáticas, correctas y elegantes, pero ñoñas y sin sustancia! ¡Ante todo, Dios nos guarde del snobismo que no sólo admite la posibilidad de estos trabajos deslavazados y obligatorios, sino que clama con un espíritu de estrecha arrogancia contra la competencia del vigor y de las ideas, dondequiera que se encuentren!

En otras palabras, cuando existen comunicaciones sin necesidad, solamente para que alguien pueda obtener el prestigio social e intelectual de convertirse en su sacerdote, la calidad y el valor del contenido del mensaje cae a plomo. Es como si se construyera una máquina del tipo de las de Rube Goldberg, con objeto de demostrar para cuántas cosas puede servir un aparato aparentemente inútil, no para hacer realmente algo. En el arte, el deseo de encontrar nuevas cosas que decir y nuevos modos de expresarlas es la fuente del interés y de la vitalidad. Sin embargo, todos los días encontramos ejemplos de obras pictóricas, en las que, por ejemplo, el artista se compromete a utilizar los nuevos cánones de lo abstracto, sin demostrar ninguna intención de emplearlos para mostrar una forma bella, interesante y nueva, para proseguir la elevación sobre la tendencia predominante hacia lo común y lo banal. No todos los artistas pedantes son académicos. También hay *avantgardistes* pedantes. Ninguna escuela tiene un monopolio de la belleza, que, como el orden, aparece en muchos lugares de este mundo, pero sólo como una lucha temporaria y local contra el Niágara de la creciente entropía.

Hablo aquí con un sentimiento que es más intenso en lo que respecta al investigador que al artista, pues es en la ciencia

donde decidí empezar a decir algo. Lo que me saca de mis casillas, me descorazona y molesta es la preferencia de las grandes escuelas por el escolio en oposición a lo original; por lo convencional y deslavazado, que puede producirse en muchos ejemplares, en lugar de lo potente y nuevo; por la árida corrección y las limitaciones de amplitud y de método y no por la novedad y belleza universales, se encuentren donde se encuentren. Además protesto, no sólo, como lo he hecho, contra los impedimentos para la originalidad intelectual que producen las dificultades de las comunicaciones en el mundo moderno, sino, también aun más intensamente, contra el hacha que se hunde en la raíz misma de la originalidad, como consecuencia de que las personas que han tomado las comunicaciones como profesión, no tienen muchas veces nada que comunicarnos.

IX

LA PRIMERA Y LA SEGUNDA REVOLUCIÓN INDUSTRIAL

Los capítulos anteriores de este libro se ocupan principalmente del hombre en cuanto organismo de comunicación. En éste dicutiré aquel campo en el que se encuentran el carácter comunicativo del hombre y el de la máquina, y también trataré de estimar la dirección en la que proseguirá el desarrollo de la última y lo que podemos esperar de sus efectos sobre nuestra sociedad.

Ya en otra ocasión, que recuerda la historia, la máquina repercutió en la cultura humana produciendo resultados de la mayor trascendencia, que han dado en llamarse la revolución industrial, cuya importancia radica en hacer de la máquina puramente un sustitutivo del trabajo muscular humano. Para poder estudiar la crisis actual que llamaremos la segunda revolución industrial, será conveniente discutir la historia de la anterior, que nos servirá de algo así como un modelo.

La primera provino del fermento intelectual del siglo XVIII, en cuya época estaban ya bien desarrolladas las técnicas científicas de Newton y Huyghens, aunque las aplicaciones habían trascendido apenas de la astronomía. Todos los investigadores inteligentes habían comprendido ya que las nuevas técnicas iban a tener un profundo efecto sobre las otras ciencias. Las primeras actividades en las que pudo apreciarse el efecto de la era newtoniana fueron la navegación y la relojería.

La navegación es un arte muy antiguo, con una evidente

debilidad que conservó hasta el primer tercio del siglo XVIII. El problema de determinar la latitud fue siempre fácil aun en la época de los griegos. Consistía simplemente en determinar la altura del polo celeste, lo que puede hacerse aproximadamente suponiendo que la estrella polar coincide con él o, con mayor exactitud, determinando el centro de la órbita circular aparente de dicho astro. Pero el problema de las longitudes es siempre más difícil. Excepto mediante un levantamiento topográfico, sólo puede resolverse comparando el tiempo local con el de un punto elegido arbitrariamente; por ejemplo, Greenwich. Para poder hacer eso es necesario llevar con nosotros la hora de esa localidad mediante un cronómetro o encontrar algún reloj celeste distinto del sol para sustituirlo.

Antes que los navegantes pudieran utilizar alguno de esos métodos, la técnica náutica encontraba grandes dificultades. El marino estaba acostumbrado a navegar a lo largo de la costa hasta llegar a la latitud necesaria. Entonces seguía un curso mar afuera, hacia el este o el oeste, siguiendo ese paralelo, hasta divisar otra tierra. Excepto mediante un aproximado cálculo a ciegas, no podía decir a qué distancia se encontraba, aunque tenía la mayor importancia para él no abordar una costa peligrosa sin darse cuenta. Después de devisar tierra, proseguía a lo largo de ella hasta llegar a su punto de destino. Se comprenderá que, en esas circunstancias, todo viaje marítimo tenía mucho de aventura. Sin embargo, ese fue el método de navegación durante muchos siglos, lo que se reconoce en la ruta de Colón, de la flota de la Plata o de los galeones de Acapulco.

Los almirantazgos de algunas potencias marítimas de aquella época no encontraban satisfactorio ese procedimiento. En primer lugar, los intereses ultramarinos de Francia e Inglaterra, distintos de los de España, se encontraban en latitudes altas donde las ventajas de la ruta de círculo máximo sobre la de este y oeste eran claramente evidentes. En segundo lugar, existía entre ambas potencias una aguda competencia por la hegemonía marítima; las ventajas de mejores procedimientos náuticos eran muy serias. No sorprende por ello que ambos gobiernos

ofrecieran amplias recompensas al que encontrara un método exacto de determinar longitudes.

La historia de esos concursos es complicada y poco edificante. Se privó a más de un hábil concursante de su triunfo y se le llevó a la bancarrota. Finalmente, en ambos países se concedieron los respectivos premios a dos métodos enteramente distintos. Uno fue la construcción de un exacto cronómetro náutico, es decir, un reloj lo suficientemente bien construido como para poder indicar la hora con un error de pocos segundos durante viajes en los que estaba sometido a los violentos y continuos movimientos del barco. El segundo consistió en la elaboración de nuevas tablas del movimiento de la luna, que permitían al navegante utilizar nuestro satélite como reloj con el que se pudiera verificar el movimiento aparente del sol. Ambos métodos se aplicaron en la navegación hasta los recientes progresos de la radio y el radar.

Según esto, la vanguardia de los artesanos, durante la revolución industrial, se componía, por una parte, de relojeros que utilizaban la nueva matemática newtoniana para construir sus péndulos y sus ruedas equilibradas y, por otra parte, de los fabricantes de instrumentos ópticos, con sus sextantes y telescopios. Ambas profesiones tenían mucho de común. En ellas era necesaria la construcción de exactos círculos y rectas, graduados en medidas angulares y lineales. Sus herramientas eran el torno y la máquina de dividir. Por el trabajo delicado que exigen, estos útiles son los antepasados de nuestras actuales máquinas herramientas.

Es interesante observar que toda herramienta tiene una genealogía, pues desciende de aquellas otras mediante las cuales se la construyó. Los tornos de relojero del siglo XVIII pasan por una clara cadena histórica de máquinas intermedias hasta los grandes tornos actuales de torre. Pudo haber sido algo más corto el paso de unos a otros, pero necesariamente debió tener una longitud mínima. Evidentemente es imposible, al construir un gran torno de torre, fiarse de las manos del hombre para verter el metal fundido, colocar las piezas vaciadas en los ins-

trumentos que han de trabajarlas y, ante todo, desarrollar la potencia necesaria en este trabajo. Todos esos dispositivos han sido producidos mediante máquinas, elaboradas a su vez por otras; sólo pasando de vuelta por numerosas etapas se llega finalmente a los tornos originales a mano o a pedal del siglo XVIII.

Por ello es enteramente natural que los que habían de desarrollar las nuevas invenciones fueran relojeros o fabricantes de instrumentos científicos o acudieran a alguna persona de cualquiera de esas dos profesiones para que los ayudaran. Por ejemplo, Watt producía aparatos de laboratorio. Para mostrar cómo hombres de la clase de Watt habían de conformarse antes de extender la precisión de la relojería a otras técnicas, basta recordar, como ya lo he dicho, que consideraba exacto un pistón dentro de su cilindro, cuando era casi imposible introducir y mover entre ambos una fina moneda de seis peniques.

Debemos considerar la navegación y los instrumentos necesarios para ella como el foco de una revolución industrial, precursora de la otra a la que se ha dado el mismo nombre y que se inicia con la máquina de vapor. Su primer modelo fue el de Newcomen, grosera y que gastaba mucho. A mediados del siglo XVIII se hicieron varias tentativas abortadas de utilizarla para generar energía, usándola para elevar agua hasta recipientes a una cierta altura; al caer desde allí el líquido movía una rueda hidráulica. Esos dispositivos complicados perdieron su interés al introducirse la máquina perfeccionada de Watt, que desde un principio se empleó para bombear agua, así como para producir energía. A fines del siglo XVIII, la máquina de vapor estaba firmemente establecida en la industria y no estaba muy lejos la realización de la promesa de las embarcaciones a vapor en los ríos y la tracción terrestre por el mismo sistema.

El primer lugar en el que la potencia del vapor se empleó en un fin práctico fue en el bombeo del agua de las minas, una de las formas más brutales del trabajo humano o animal. En el mejor de los casos, llevaban a cabo esa labor máquinas sumamente primitivas, movidas por caballos. En el peor, ese

trabajo, como en las minas de plata de Nueva España, estaba a cargo de esclavos. Es esa una tarea que nunca acaba y que no puede interrumpirse jamás, so pena de tener que cerrar la mina para siempre. Ciertamente puede considerarse un gran progreso humanitario que la máquina de vapor reemplazase esa servidumbre.

Sin embargo, los esclavos no sólo agotan el agua de las minas; también arrastran las barcazas río arriba. El segundo triunfo importante de la máquina de vapor fue su aplicación a los barcos, en particular a los que navegan por los ríos. En los mares, durante muchos años, fue sólo un auxiliar de dudoso valor del velamen, que conducía toda embarcación de alta mar; pero el transporte a vapor por el Mississippi abrió el interior de los Estados Unidos. Así como su modelo fluvial, la locomotora empezó por transportar cargas pesadas, tarea que le arrebatan ahora otros medios de transporte.

El próximo lugar donde se hizo sentir la revolución industrial, quizás algo más tarde que en el laboreo de las minas y simultáneamente con la evolución en los transportes, fue la industria textil, que ya entonces estaba enferma. Aun antes de la introducción de los husillos y telares a motor, la condición de los hilanderos y tejedores dejaba mucho que desear. La cantidad que podían producir era mucho menor que la demanda de aquella época. Podría parecer imposible en esas condiciones que la introducción de la máquina hubiera empeorado sus condiciones de vida, pero así fue.

Los principios de la maquinaria textil se remontan a una época anterior a la producción de energía mediante el vapor. Desde el tiempo de la reina Isabel existía ya la máquina de hacer medias, movida a mano. Se hizo necesario la introducción del hilado a máquina para alimentar los telares manuales. Hasta principios del siglo XIX no se realizó la mecanización completa de la industria, abarcando tanto el hilado como el tejido. Las primeras máquinas textiles se movían a mano aunque muy pronto se utilizó la fuerza hidráulica o el vapor. Parte del ímpetu que hizo avanzar la máquina de Watt comparada con la

de Newcomen consistió en el deseo de suministrar energía en forma rotatoria, necesaria para las industrias textiles.

Las fábricas de tejidos suministraron el modelo de casi todo el proceso de mecanización de la industria. En lo social, se inició la transferencia del obrero de su casa a la fábrica y del campo a la ciudad. Existió una explotación del trabajo de niños y de mujeres, en una magnitud de la que difícilmente podemos darnos hoy una idea, si olvidamos las minas de diamantes de África del Sur e ignoramos la nueva industrialización de la China y de la India, así como las condiciones del trabajo agrícola en casi todos los países del mundo. Gran parte de ello se debió a que las nuevas técnicas produjeron nuevas responsabilidades, cuando todavía no se había redactado un código que las considerara. Una fase, sin embargo, tuvo mayor significado técnico que moral. Me refiero a que gran parte de las desastrosas consecuencias de las primeras etapas de la revolución industrial no se debieron tanto a la moral obtusa o a la gran iniquidad de los interesados, sino a ciertos rasgos técnicos inherentes a los sistemas primitivos de industrialización y que han sido borrados en mayor o menor medida por la historia del desarrollo técnico. Esas fuerzas que determinaron la dirección tomada por la primitiva revolución industrial radicaban en la misma naturaleza de los primeros modelos de las máquinas a vapor y de su método de trasmisión de energía. Según las normas modernas, esas máquinas utilizaban el carbón de manera sumamente ineficaz; aunque esto no es tan importante como pudiera parecer, pues las modernas de mejor rendimiento no les hacían la competencia. Sin embargo, en sí mismas eran mucho más económicas en gran escala que en pequeña. Comparada con el motor, la maquinaria textil, sea husillo o telar, es relativamente poco pesada y gasta muy poca energía. En consecuencia era económicamente necesario reunir estas máquinas en una gran fábrica, donde una máquina de vapor podía mover fácilmente muchas de ellas.

En aquella época, los únicos medios de trasmisión de energía de que se disponía eran mecánicos. El primero entre ellos era

el eje, al que acompañaban la correa y la polea. Aun durante mi infancia, el aspecto típico de un taller era el de una gran red de ejes suspendidos en las vigas del techo, y poleas y correas que los unían a cada una de las máquinas. Todavía existe ese tipo de taller, aunque en la mayoría de los casos ha desparecido, dejando el lugar a aquel en el que los motores eléctricos mueven individualmente cada una de las máquinas.

Este segundo tipo es característico de nuestra época. La profesión del mecánico ha tomado una forma enteramente nueva. Aquí aparece un hecho importante para la historia de las invenciones. Fueron esos mecánicos y otros nuevos artesanos de la edad de la máquina los que desarrollaron las invenciones en las que se basa nuestro sistema de patentes. La conexión mecánica de las máquinas implica dificultades sumamente serias y que no son fáciles de expresar mediante alguna formulación matemática. En primer lugar, los ejes largos deben estar bien alineados o emplear ingeniosos métodos de conexión como juntas universales o en paralelo, que permiten un cierto grado de libertad. En segundo lugar, gastan mucha energía los cojinetes de tales ejes. En cada una de las máquinas, las partes sometidas a un movimiento de giro o de vaivén plantean cuestiones similares respecto a la rigidez y al número de cojinetes, número que debe reducirse tanto como sea posible, para disminuir el consumo de energía y simplificar la fabricación. No pueden cumplirse esas prescripciones basándose en fórmulas generales, lo que proporciona una excelente oportunidad para la ingeniosidad y la capacidad inventiva de la misma clase que la de los antiguos artesanos.

El cambio de las conexiones mecánicas a las eléctricas ha tenido un gran efecto, cuya importancia se ve a la luz de los hechos anteriormente expuestos. El motor eléctrico es un método de distribución de la energía que puede construirse cómodamente en pequeñas dimensiones, por lo que cada máquina puede tener uno propio. Las pérdidas por trasmisión en la red de la fábrica son relativamente pequeñas. La conexión del motor a la red no es necesariamente rígida ni se compone de nu-

merosas partes. Todavía existen razones de tráfico y de conveniencia que pueden inducirnos a continuar con la costumbre de colocar todas las máquinas de un proceso industrial en una misma fábrica, pero la necesidad de conectarlas todas a un motor único ya no es una razón seria en favor de la proximidad geográfica. En otras palabras, podemos volver ahora a la industria doméstica, en aquellos casos en que hubiera otras razones para que ello resultara conveniente.

No deseo insistir en que las dificultades de la trasmisión mecánica fueron la única causa de los sórdidos talleres y de la desmoralización que produjeron. El sistema fabril se inició antes de la aplicación de la máquina, como un método de disciplinar la industria doméstica altamente anárquica del trabajador individual y de mantener los niveles de producción. Cierto es, sin embargo, que esas fábricas no mecánicas pronto fueron suplantadas por otras que lo eran y que probablemente los peores efectos sociales del amontonamiento urbano y de la despoblación rural ocurrieron por las últimas, por las mecanizadas. Además, si el motor cuya potencia se expresa en fracciones de caballo hubiera existido desde el principio y hubiera podido aumentar la producción del trabajo doméstico, es sumamente probable que gran parte de la organización y de la disciplina necesarias para la producción en masa hubiera podido introducirse en las industrias caseras como el hilado y el tejido.

Si se desea, una sola máquina puede contener varios motores, cada uno de los cuales aporta energía de movimiento donde sea necesario. Eso facilita la labor del delineante, pues para el diseño mecánico no exige tanta ingeniosidad entonces como en el otro caso. En el diseño de la parte eléctrica, el mero problema de la conexión de las partes rara vez plantea dificultades que no se presten a una formulación matemática y una solución fácil. El experto en cinemática ha sido sustituido por el calculista de circuitos. Esto es un ejemplo de cómo el arte de la invención está condicionado por los medios de que se dispone.

En el tercer cuarto del siglo XIX, cuando empezó a utilizarse el motor eléctrico en la industria, se creyó que no era sino una

posibilidad más de trabajar de acuerdo a las técnicas ya existentes. Probablemente no se previó que su efecto final conduciría a un tipo distinto de fábrica.

El otro gran descubrimiento eléctrico, el tubo de vacío, tiene una historia similar. Antes de que se inventara, los sistemas de gran potencia se regulaban mediante mecanismos numerosos y la mayoría de ellos gastaban una parte apreciable de energía. Se contaban algunas excepciones, pero sólo en actividades especiales, como los timones de los barcos.

Todavía en 1915, crucé el Atlántico en los viejos barcos de la American Line. Pertenecían al período de transición, cuando todavía llevaban velas, así como una proa puntiaguda para el bauprés. En un puente, no lejos del castillo, se encontraba una formidable máquina compuesta de cuatro o cinco ruedas de 1,8 metros de diámetro con manivelas. Estaba destinada a mover el timón, si el servomotor dejara de funcionar. En una tormenta, se hubieran necesitado diez o más hombres, con toda su fuerza, para mantener aquel gran barco en su ruta.

Ese no era el método usual de gobernar el barco, sino un sustitutivo en caso de emergencia o, como lo llaman los marineros, un "timón múltiple". Normalmente, el barco posee un servomotor que trasmite los esfuerzos relativamente pequeños del timonel al pesado timón. Así, pues, aun sobre una base puramente mecánica, se habían obtenido algunos progresos en lo que respecta a la amplificación de fuerzas o momentos. Sin embargo, en aquella época, esa solución del problema de amplificarlas no abarcaba toda la gama de diferencias entre entrada y salida, ni constituía tampoco un tipo cómodo y universal de aparatos.

El aparato más flexible y universal para amplificar energías de poca intensidad es el tubo de vacío o válvula electrónica. Su historia es interesante, aunque bastante compleja para exponerla aquí. Sin embargo, divierte recordar que esta invención se debe al mayor descubrimiento científico de Edison y tal vez el único del cual no sacó provecho.

Observó que cuando se coloca un electrodo dentro de una

lámpara eléctrica, positivo con respecto al filamento de la misma, pasa una corriente, si se calienta el filamento y no de otra manera. A través de una serie de invenciones de otros investigadores, ello condujo a un método más efectivo que los conocidos anteriormente para regular una corriente de gran intensidad mediante un pequeño voltaje. Esa es la base de la industria moderna de las radiocomunicaciones, además de ser una herramienta industrial que día a día conquista nuevos campos. Ya no es necesario regular un proceso a niveles altos de energía mediante un mecanismo en el que los detalles importantes de la regulación se efectúen a esos mismos niveles. Es enteramente posible establecer una cierta forma de conducta, de reacción, para niveles de energía mucho más bajos que los de los aparatos comunes de radio, utilizando después una serie de tubos de amplificación para gobernar una maquinaria tan pesada como un tren de laminación. El trabajo de discriminación y de formación de la conducta se efectúa en condiciones tales que las pérdidas de energía son insignificantes, aunque, en su etapa final, este proceso discriminatorio funcione a niveles arbitrariamente altos de energía.

Se ve, pues, que esta es una invención capaz de cambiar las condiciones en las que se basa la industria de una manera tan radical, como lo hizo la trasmisión y subdivisión de la energía mediante el pequeño motor eléctrico. Se transfiere el estudio de la forma de conducta a una parte especial del instrumento, en la cual el consumo de energía carece de importancia. Así se resta gran parte de su trascendencia a los embragues y dispositivos utilizados previamente para obtener una conexión mecánica con el número mínimo de elementos, así como a los dispositivos cuya misión consiste en reducir a un mínimo las pérdidas producidas por piezas en movimiento y por la fricción. El proyecto de máquinas que contienen tales partes ha pasado del dominio del mecánico hábil al del investigador de laboratorio, en el que se encuentran disponibles todos los recursos de la teoría de los circuitos para reemplazar la ingeniosidad mecánica de la antigua escuela. La invención en el sentido anterior

ha sido sustituida por el uso inteligente de ciertas leyes de la naturaleza. El paso de éstas a su aplicación se ha reducido a la centésima parte.

He dicho anteriormente que, cuando se inventa algo, pasa mucho tiempo antes de comprender todas sus consecuencias. Transcurrieron años antes que la gente se diera cuenta de toda la importancia del avión en las relaciones internacionales y en las condiciones en las que se desarrolla la vida humana. Aún está por estimar el efecto de la energía atómica sobre la humanidad y el futuro, aunque muchos de los que han considerado el asunto creen que es una nueva arma análoga a las anteriores.

El caso del tubo de vacío fue similar. Al principio, se le consideró simplemente como un método más que aumentaba el número de las técnicas ya existentes de comunicación telefónica. Los ingenieros electricistas desconocieron al principio de tal manera su verdadera importancia que durante años quedó relegado a ser un dispositivo de una parte especial de las redes de comunicación. Estaba unido a otros que se componían exclusivamente de los elementos del circuito que tradicionalmente se llaman inactivos: resistencias, capacidades e inductancias. Sólo desde la guerra los ingenieros se han considerado en libertad de colocarlos donde sean necesarios, de la misma manera como antes incluían elementos pasivos de las tres clases mencionadas.

El tubo de vacío fue empleado por primera vez para reemplazar las partes anteriormente existentes en los circuitos telefónicos de larga distancia y en telegrafía sin hilos. Sin embargo, no pasó mucho tiempo sin que se comprendiera que la radiotelefonía había llegado al mismo grado de desarrollo de la radiotelegrafía, y esto hizo posible la radiodifusión. Que ese gran triunfo de la inventiva haya pasado en gran parte a los "episodios" y a los cancionistas chirles, no puede impedir que reconozcamos la obra excelente que se hizo al llevarlo a cabo y sus grandes posibilidades para la cultura, pervertidas en la exhibición nacional de algún curalotodo.

Aunque el tubo de vacío inició la etapa de su aplicación en la industria de las comunicaciones, durante mucho tiempo no

se reconocieron ni los límites ni la extensión de esa industria. Hubo utilizaciones aisladas del tubo de vacío, junto con su hermana, la célula fotoeléctrica, para observar los productos industriales, como por ejemplo, para regular el espesor del papel que sale de la máquina o para examinar el color de una lata de conserva de ananá o piña americana. Esas aplicaciones no formaban una nueva técnica razonada, ni se asociaban en el cerebro del ingeniero con las otras funciones del mismo dispositivo en las comunicaciones.

Todo esto cambió durante la guerra. Una de las pocas ventajas del gran conflicto fue el rápido desarrollo de las invenciones, estimuladas por la necesidad y la carencia de limitaciones en el empleo del dinero y, ante todo, por las jóvenes generaciones admitidas a la investigación. Al principio del conflicto, la tarea principal de los Estados Unidos consistió en evitar que Inglaterra quedara fuera de combate por un ataque aéreo en masa. Según eso, el cañón antiaéreo fue uno de los primeros objetivos norteamericanos, especialmente la combinación de esa arma de fuego con algún método de descubrir el aparato enemigo, tal como el radar, o sea, ondas hertzianas de alta frecuencia. Esa técnica utilizaba los mismos procedimientos que la radio, además de conducir a la invención de otros propios. Era, pues, natural considerar el radar como una parte de la teoría de las comunicaciones.

Además de encontrar los aeroplanos mediante el radar era necesario bajarlos a cañonazos, lo que lleva al problema de la regulación del fuego. La velocidad del avión conduce a la necesidad de computar a máquina los elementos de su trayectoria concediendo a los aparatos de cálculo funciones comunicativas que anteriormente estaban a cargo de los servidores de la pieza. Así el problema de la regulación del fuego familiarizó a una nueva generación de ingenieros con el concepto de una comunicación enviada a una máquina y no a una persona. En el capítulo sobre lenguaje, mencionamos ya otro campo en el cual ese concepto es familiar, desde hace mucho tiempo, a un grupo limitado de ingenieros: la central hidroeléctrica automática,

Durante el período que precedió inmediatamente a la segunda guerra mundial, se encontraron otras aplicaciones para la conexión directa entre un tubo de vacío y una máquina, en vez del primero con un ser humano. Entre ellas aparecieron aplicaciones generales a las máquinas de calcular. La idea de estos dispositivos de grandes dimensiones, como la ha desarrollado Vannevar Bush entre otros, fue en su origen completamente mecánica. La integración se efectuaba mediante discos que giraban sobre una superficie y unidos entre sí por fricción. El intercambio de entradas y salidas era tarea de un tren clásico de ejes y engranajes.

La idea inicial de estas primeras máquinas de calcular es mucho más antigua que las investigaciones de Vannevar Bush. En algunos puntos, se remonta a los trabajos de Babbage a principios del siglo XIX. Ese inventor tenía una idea asombrosamente moderna de una máquina de esa clase, pero los medios mecánicos de que disponía estaban muy por debajo de sus ambiciones. La primera dificultad con que se encontró y que no pudo vencer fue que un largo tren de engranajes requiere una energía considerable, por lo que el impulso y la energía de salida pronto son demasiado débiles para poner en movimiento la parte restante del aparato. Bush obvió esa dificultad de manera muy ingeniosa. Además de los amplificadores eléctricos que se basan en los tubos de vacío o dispositivos similares, hay ciertos amplificadores mecánicos de fuerzas que son conocidos por todos los que están familiarizados con los barcos y la descarga de mercancías. El estibador levanta las cargas sujetando la cuerda de que cuelgan al tambor de una pequeña máquina auxiliar o cabria. De esa manera la tensión que ejerce mecánicamente está aumentada por un factor que crece rápidamente con el ángulo de contacto entre la cuerda y el tambor. Así un hombre puede regular el ascenso y el descenso de un peso de muchas toneladas.

Este dispositivo es fundamentalmente un amplificador de fuerza o de momento. Mediante una construcción ingeniosa, Bush colocó esos amplificadores mecánicos entre las etapas de

su máquina de calcular, siendo así capaz de llevar a cabo efectivamente lo que sólo había sido un sueño para Babbage.

En la primera época de las investigaciones de Bush, antes que existieran en las fábricas los reguladores automáticos de alta velocidad, me había interesado por la solución de una ecuación diferencial parcial. Los trabajos de Bush se referían a ecuaciones diferenciales ordinarias en las que la variable independiente era el tiempo; reproducía en su período el curso del fenómeno que analizaba, aunque tal vez a un ritmo diferente. En la ecuación diferencial parcial, las variables que reemplazan al tiempo se extienden en el espacio; sugerí a Bush que, en vista de la técnica de exploración de la televisión, que se desarrollaba por aquel entonces velozmente, deberíamos considerar ese mismo método para representar las muchas variables de, digamos, el espacio frente a la única variable del tiempo. Una máquina de calcular de ese tipo tendría que trabajar a muy altas velocidades, lo que en mi opinión excluía completamente los métodos mecánicos y nos conducía otra vez a los electrónicos. Además, en un aparato de esa clase, los datos tendrían que escribirse, leerse y borrarse a una velocidad compatible con la de las otras operaciones; debería incluir, además de un mecanismo aritmético, otro lógico y ser capaz de resolver los problemas de programación sobre una base puramente lógica y automática. El concepto de programación en las fábricas se ha convertido en algo familiar después de las investigaciones de Taylor y los Gilbreth sobre tiempos, y estaba ya listo para ser transferido a las máquinas. Ofrecía considerables dificultades de detalle, pero ninguna insuperable en principio. Por ello, en 1940, yo estaba convencido de que se había levantado ya sobre el horizonte la fábrica automática y así se lo informé a Vannevar Bush. El desarrollo posterior de la automatización, tanto el anterior como el posterior a la primera edición de este libro, me han convencido de que mi idea era correcta y de que será uno de los factores de mayor importancia para la formación de la vida técnica social de las edades futuras, el rasgo fundamental de la segunda revolución industrial.

En una de sus etapas primitivas, el analizador diferencial de Bush efectuaba todas las funciones principales de amplificación. Utilizaba la electricidad sólo para proporcionar energía a los motores que hacían funcionar toda la instalación. Esa etapa de las máquinas de calcular era intermedia y transitoria. Muy pronto resultó evidente que los amplificadores de carácter eléctrico, unidos entre sí mediante alambres y no por ejes, eran más baratos y más flexibles que los amplificadores y las conexiones de carácter mecánico. De acuerdo con esto, las últimas formas de la máquina de Bush utilizan dispositivos de tubos de vacío. Eso ocurre con todos sus sucesores, sean los que ha dado en llamarse ahora computadores analógicos o los que funcionan primordialmente midiendo cantidades físicas, o máquinas digitales, cuyo método de trabajo se basa en contar y en las operaciones aritméticas.

El desarrollo de este tipo de máquinas de calcular ha sido muy rápido después de la guerra. En una amplia gama de cuestiones de cálculo numérico, han demostrado ser más rápidas y merecer más confianza que el calculista humano. Su velocidad ha llegado a ser tal que está fuera de la cuestión cualquier intervención en una etapa intermedia. Plantean, pues, la misma necesidad de reemplazar la actividad del hombre por la de la máquina que apareció en el cañón antiaéreo. Sus partes deben hablar las unas a las otras en un lenguaje apropiado, sin manifestar nada a alguna persona o recibir órdenes de otra, excepto en la etapa inicial y final del procedimiento. Aquí tenemos otra vez un elemento que ha contribuido a que se acepte generalmente la extensión del concepto de comunicaciones a las máquinas.

En estas conversaciones entre las partes, conviene conocer lo que la máquina ha dicho antes. Aquí aparece otra vez el principio de la retroalimentación que ya hemos discutido y que es más antiguo que el mecanismo de gobierno del timón y efectivamente por lo menos de tan vieja data como el regulador de la máquina de vapor de Watt, mecanismo que impide su actividad en vacío, cuando se suprime la carga. Si se produce

eso, las bolas del regulador suben llevadas por la fuerza centrífuga y, al ascender, mueven una compuerta que cierra parcialmente la entrada de vapor. Así la tendencia a aumentar la velocidad produce otra parcial compensadora hacia la disminución de la misma. Clerk Maxwell, en 1868, sometió a un riguroso análisis matemático este método de regulación.

Aquí la retroalimentación se utiliza para corregir la velocidad de una máquina. El servomotor del timón de un navío regula la posición del timón. El timonel opera un ligero sistema de trasmisión a cadenas o hidráulico, que produce un movimiento en una pieza del mecanismo del servomotor. Hay un dispositivo particular que observa la distancia entre esta pieza y la caña del timón, regulando esa distancia la admisión de vapor, en el caso de un servomotor que con vapor trabaje, o el paso de una corriente, si se trata de uno eléctrico. Cualquiera que sea la conexión particular, ese cambio de la admisión se efectúa siempre en una dirección que haga coincidir la caña del timón y la pieza movida desde la rueda. Así un hombre solo puede hacer con facilidad lo que costaba mucho trabajo a todo un grupo de marineros en el antiguo gobernalle múltiple.

Hasta ahora, nuestros ejemplos de retroalimentación han sido primordialmente de naturaleza mecánica. Sin embargo, puede efectuarse una serie de operaciones de la misma estructura mediante métodos eléctricos o usando tubos electrónicos. Este promete ser en el futuro el método normal de construcción de aparatos de regulación.

Hace ya mucho tiempo que existe la tendencia a automatizar máquinas y fábricas. Excepto para algún propósito especial, ya no se producen tornillos mediante el torno corriente, en el cual un mecánico debe vigilar el progreso de la herramienta de corte, regulando el avance a mano. El moderno torno automático los produce en gran cantidad, sin ninguna intervención seria del obrero. Aunque esa máquina no utiliza especialmente la retroalimentación o el tubo de vacío, cumple un fin análogo. Lo que la retroalimentación y el tubo de vacío hacen posible,

no es una construcción aislada de mecanismos automáticos individuales, sino métodos generales para elaborar mecanismos automáticos de muy diversos tipos. A ello ha contribuido nuestro tratamiento nuevo de las comunicaciones, que reconoce ampliamente las posibilidades de mensajes entre máquina y máquina. Ese conjunto de circunstancias conduce a la nueva era del automatismo.

El estado actual de las técnicas industriales incluye la totalidad de los resultados de la primera revolución junto con muchas invenciones que ahora consideramos precursoras de la segunda. Es demasiado temprano para decir cuál es la frontera entre las dos revoluciones. De acuerdo con su significado potencial, el tubo de vacío pertenece verdaderamente a una transformación industrial distinta de la edad de la energía; sin embargo, sólo ahora comprendemos suficientemente el verdadero sentido de la invención del tubo de vacío como para atribuir nuestra época a una nueva y segunda revolución industrial.

Hasta ahora, hemos hablado del real estado de cosas. No hemos considerado más que una pequeña parte de los múltiples aspectos de la primera revolución industrial. No hemos mencionado el avión, ni los *bulldozers* y las demás máquinas de construcción, ni el automóvil, ni siquiera un décimo de esos factores que han convertido la vida moderna en algo completamente distinto de la de cualquier otro período. Sin embargo, puede asegurarse que, excepto un considerable número de ejemplos aislados, la revolución industrial hasta ahora ha desplazado al hombre y a las bestias como fuentes de energía, sin producir grandes consecuencias en otras funciones humanas. Lo más que puede hacer hoy un trabajador de pico y pala para ganarse la vida es actuar como una especie de alisador detrás de un *bulldozer*. En todo sentido importante el hombre que no tiene nada más para vender que su propia fuerza física, no ofrece nada que valga el dinero de alguien.

Procedamos ahora a imaginarnos una edad aun más automática. Consideremos por ejemplo lo que podrá ser la fábrica de automóviles del futuro, en particular la línea de montaje, la

parte de este tipo de empresas donde se emplea el mayor número de obreros. En primer lugar, la secuencia de las operaciones estará regulada por algo parecido a una moderna máquina calculadora de alta velocidad. Tanto en este libro, como en otros lugares, he dicho a menudo que la máquina de calcular moderna es primordialmente un mecanismo lógico que compara diferentes proposiciones entre sí y deduce algunas de sus consecuencias. Es posible convertir toda la matemática en la ejecución de una secuencia de tareas puramente lógicas. Si la máquina incorpora esos principios, será una calculadora corriente. Pero además de efectuar esos trabajos matemáticos, será capaz de resolver la labor lógica de distribuir una serie de órdenes que se refieren a operaciones matemáticas. En consecuencia, las calculadoras actuales deben contener por lo menos una parte muy amplia que debe ser puramente lógica.

Hablando también de acuerdo con la práctica actual, diré que se imparten las instrucciones a esas máquinas mediante el tecleado. Las órdenes dadas llegarán a ella por un tecleado que puede estar completamente predeterminado. También es posible que las contingencias reales que aparezcan durante el funcionamiento suministren la base de una regulación ulterior que pasará a un nuevo tecleado elaborado por la misma máquina o a una modificación del primitivo. Ya he explicado mi creencia en el parentesco de este fenómeno con el aprendizaje.

Podría pensarse que el costo enorme de las actuales máquinas de calcular excluye su aplicación en la industria y además que la delicadeza del trabajo necesario para construirlas y la gran variabilidad de sus funciones impide la utilización de los métodos de producción en masa para su fabricación. Ninguna de esas objeciones es correcta. En primer lugar, las enormes máquinas de calcular utilizadas actualmente para las investigaciones de la matemática superior cuestan unos cientos de miles de dólares. Ni siquiera este precio, que no es típico, sería prohibitivo para el mecanismo de regulación de una fábrica verdaderamente grande. En lo técnico, se desarrollan tan rápidamente las máquinas de calcular que efectivamente cada una es un mo-

delo único. En otras palabras, una gran parte del precio exorbitante se ha invertido en investigaciones, en nuevas piezas, que producen obreros altamente calificados en circunstancias sumamente costosas. En consecuencia, si se establece un modelo y un precio uniforme y se las utiliza por decenas, es dudoso que su precio pase de las decenas de miles de dólares. Una máquina similar de menos capacidad, inadecuada para los más difíciles problemas de cálculo, pero enteramente capaz de regular el proceso de fabricación en una fábrica, no podría costar más de unos pocos miles de dólares si se produjera en masa, aunque fuera en pequeña escala.

Consideremos ahora el problema de la producción en grandes cantidades de estas máquinas. Si la única posibilidad de una serie consistiera en fabricarlas completas, es evidente que, por muchos años, lo único que podremos esperar es una producción moderada. Sin embargo, en todas ellas la mayor parte de las piezas se repite un considerable número de veces. Eso es cierto si se considera la parte de la memoria, de la lógica o de la aritmética. Así, la fabricación de sólo unas pocas decenas de máquinas representa una producción potencial en masa de esas partes, a lo que acompañan las mismas ventajas económicas.

Podrá creer todavía el lector que la delicadeza de las máquinas debe conducir a que cada labor exija un nuevo tipo. También esto es erróneo. Dada una cierta similitud del tipo de operaciones matemáticas y lógicas que deben efectuar las partes correspondientes de la máquina, la actividad completa de ésta queda fijada por el tecleado o, en todo caso, por el tecleado *primitivo*. Esta actividad es una labor altamente especializada para profesionales sumamente especializados; pero, en gran parte, o enteramente, es una actividad de una vez para siempre y que sólo necesita repetirse parcialmente cuando se desea modificarla para una nueva estructuración industrial. Así el salario de ese técnico especializado se repartirá por una enorme producción, no siendo por ello un factor de importancia en la utilización de estos aparatos.

La máquina de calcular representa el centro de la fábrica

automática, pero nunca será toda ella. Por una parte, recibe detalladas instrucciones de sus órganos sensoriales; elementos tales como células fotoeléctricas, condensadores que miden el espesor de una hoja de papel, termómetros, medidores de la concentración de iones de hidrógeno y todo el conjunto de aparatos que construyen actualmente los fabricantes de instrumentos para la vigilancia manual de los procesos industriales. Todos ellos se construyen ya de tal modo que puedan trasmitir eléctricamente a distancia sus lecturas. Lo único necesario para que su información pase a una máquina de calcular automática de alta velocidad es un aparato de lectura que traduzca la posición o la escala en una sucesión de dígitos. Ya existen aparatos de esa clase y no ofrecen muchas dificultades, ni por su principio, ni por su construcción. El problema de los órganos sensoriales no es nuevo y está ya efectivamente resuelto.

Además, el sistema de regulación ha de tener efectores o sea componentes que actúan sobre el mundo exterior. Algunos de ellos son cosas ya familiares como los motores eléctricos que abren o cierran una válvula, los embragues eléctricos, etc. Otros habrán de inventarse para imitar de modo más real la actividad de la mano, cuando es ayudada por la vista. Es enteramente posible, al producir el chasis de un automóvil, dejar puntos de referencia que consistirán en pequeñas superficies pulidas. La herramienta, una perforadora, una remachadora o cualquier otra que se desee, puede llegar aproximadamente a ellos guiada por un mecanismo fotoeléctrico sobre el que actúan manchas de pintura. La colocación final pondrá la herramienta sobre las superficies de referencia estableciendo un contacto firme, pero no destructivo. Esto es sólo un modo de hacerlo. Cualquier ingeniero competente puede imaginar una docena más.

Naturalmente, se supone que los instrumentos que actúan como órganos sensoriales, no sólo registran el estado original del trabajo, sino además el resultado de todos los procesos anteriores. Así la máquina podrá llevar a cabo operaciones de retroalimentación, sean aquellas de tipo muy sencillo perfectamente inteligibles actualmente, o aquellas otras que implican

procesos más complicados de discriminación, verificados por el organismo central de regulación como un sistema lógico o matemático. En otras palabras, todo ello corresponderá a un animal completo con órganos sensoriales efectores y propioceptores y no, como en la máquina de calcular ultrarrápida, a un cerebro aislado que depende de nuestra intervención para sus vivencias y para su actividad efectiva.

La velocidad con la que se introducirán probablemente esos nuevos dispositivos en las industrias dependerá muchísimo del carácter de cada una de ellas. Las máquinas automáticas, que pueden ser distintas de las descritas aquí, pero que aproximadamente desempeñan las mismas tareas, se usan extensamente desde hace tiempo en las fábricas que utilizan procesos continuos como las de conservas, los trenes de laminación y especialmente las de alambres y hoja de lata. Son también familiares en las de papel, pues también éstas tienen una producción continua. Otro lugar en el que son indispensables es donde el trabajo es demasiado peligroso para que un número considerable de obreros arriesgue su vida en regularlo y en el que, en caso de peligro, será éste probablemente tan serio que sus probabilidades habrán sido consideradas con anterioridad y no quedarán a merced del juicio sobreexcitado por las circunstancias de alguien que se encuentre allí. Si es posible determinar previamente la conducta a seguir, será factible incluirla en el tecleado, que regulará el comportamiento que convenga de acuerdo con la lectura de los instrumentos. En otras palabras, esas fábricas deberán funcionar bajo un régimen análogo al de una torre de señales de ferrocarril, cuyos cambios y señales se condicionan mutuamente. Este método se sigue ya en el "cracking" del petróleo, en muchas otras fábricas químicas y al manejar los materiales peligrosos que aparecen en la explotación de la energía atómica.

Ya hemos citado el caso de la línea de montaje como un lugar en el que pueden aplicarse las mismas técnicas. Allí, como en la fábrica de productos químicos o la producción de papel en forma continua, es necesario ejercer una vigilancia esta-

dística sobre la calidad del resultado de esas operaciones, que depende de un método de toma de muestras. Wald y otros lo han convertido en una técnica que ha dado en llamarse *análisis de secuencias*; no se toman muestras en conjunto, sino mediante un procedimiento continuo, análogo al de la producción, lo que puede hacerse por una técnica reducida a reglas tan simples que es posible confiarlas a un calculista que no entienda la lógica que ello presupone, aunque también caen dentro de las posibilidades de la máquina de calcular. En otras palabras, excepto en los niveles más altos, la máquina se encarga de las verificaciones estadísticas de rutina, así como del proceso de producción.

En general, las fábricas llevan un sistema de contabilidad que es independiente de la producción, pero, en cuanto los datos que aparecen en el cálculo del costo provienen de máquinas o de la línea de montaje, pueden pasar directamente a una calculadora. Los oficinistas aportarán otros datos de cuando en cuando, pero gran parte del trabajo de escritorio se efectuará mecánicamente, dejando sólo a los seres humanos los trabajos extraordinarios como la correspondencia. Pero una gran parte de la que viene de afuera podría recibirse en forma de fichas perforadas o traducirse a esa forma mediante personal muy poco especializado. A partir de este momento, todo se hará a máquina. Esta mecanización puede aplicarse también a una parte apreciable de los archivos y ficheros de la fábrica.

En otras palabras, la máquina no convierte en sus favoritos ni al trabajador manual ni al empleado de escritorio. Los posibles campos de aplicación de la nueva revolución industrial son muy extensos e incluyen todas las tareas de formación de juicios a un bajo nivel, casi de la misma manera como los trabajadores desplazados de la primera pertenecían a la clase de los que vivían de su trabajo físico. Naturalmente, hay profesiones en las que la nueva revolución industrial no penetrará, porque las nuevas máquinas no son económicas en industrias de tan pequeña escala, que no puedan aguantar la considerable inversión de capital que tales máquinas traen consigo, o porque

hay empresas de actividad tan variada que se necesitará un tecleado distinto para cada trabajo. No creo que la maquinaria automática del tipo capaz de hacer un juicio llegue a utilizarse en un garaje o el establecimiento de la esequina donde se venden comestibles, pero creo firmemente que la utilizarán el mayorista y el fabricante de automóviles. También el trabajador rural, aunque la maquinaria automática empieza ya a ejercer una presión sobre él, está bastante protegido contra sus ataques, debido a la variedad de plantas de cultivo, las condiciones especiales del tiempo y otras circunstancias parecidas. Aun en este caso, las grandes plantaciones dependen cada vez más de las máquinas de cosechar algodón y de las que queman las hierbas nocivas, así como el plantador de trigo desde hace mucho tiempo está sometido a la utilización de la cosechadora Mc Cormick. Donde se emplean esas máquinas, no es imposible imaginarse la aplicación de las otras capaces de establecer un juicio.

La introducción de los nuevos dispositivos y la fecha en que eso puede ocurrir es naturalmente, en muy amplia medida, una cuestión económica, en la que no me considero competente. Excepto algún violento cambio político o algún conflicto bélico de importancia, pasarán de diez a veinte años antes de que se desarrollen enteramente. Una guerra cambiaría todo esto de la noche a la mañana. La lucha armada con una gran potencia militar como Rusia, que plantease serios problemas a la infantería y en consecuencia sobre nuestros recursos en hombres, podría conducir a que nos fuera muy difícil mantener nuestra producción industrial. En esas circunstancias, el reemplazo de nuestra producción, basada en factores humanos, por otros métodos, podría convertirse en una cuestión de vida o muerte. Nos encontramos tan avanzados en el camino hacia el desarrollo de un sistema unitario de regulación automática como estábamos respecto al radar en 1939. Así como la situación de emergencia de Gran Bretaña en aquella época hizo necesario un ataque del problema con todos los recursos a nuestra disposición y aceleró en varias décadas el desarrollo natural del tema, la urgencia de reemplazar el material humano actuará sobre

nosotros de manera similar en caso de otra guerra. Los hábiles aficionados a la radio, los matemáticos y los físicos, que se convirtieron tan rápidamente en competentes ingenieros electricistas para proyectar el radar, están todavía a nuestra disposición para una tarea análoga en lo que respecta a la maquinaria automática. Aparece una generación nueva y hábil que ellos entrenaron.

En estas circunstancias, dos años fueron necesarios para que el radar llegara al campo de batalla, con un alto grado de eficacia; será probablemente menor el período de evolución de la fábrica automática. Al final de esa guerra, será común el tipo de *know-how* capaz de construir estas fábricas. Quedarán además cantidades enormes de equipos producidos por el gobierno que se pondrán, probablemente, en venta a disposición de los industriales. Así, pues, un nuevo conflicto verá casi inevitablemente la edad automática en completo desarrollo en menos de cinco años.

He hablado de la realidad y de la inminencia de esa nueva posibilidad. ¿Qué podemos esperar de sus consecuencias económicas y sociales? En primer lugar, la cesación definitiva y brusca de todo trabajo fabril que consista puramente en repetir una labor. A la larga, la naturaleza mortalmente aburrida de la repetición de tareas puede traer algo bueno y ser la fuente del tiempo libre necesario para el completo desarrollo cultural del hombre. Podrá conducir culturalmente a cosas tan triviales e inútiles como gran parte de las que hasta ahora han proporcionado la radio y el cine.

En esas circunstancias, se inundará la industria con esas nuevas herramientas en la medida que parezcan producir ganancias inmediatas, sin tener en cuenta el daño que puedan causar a la larga. Veremos un fenómeno paralelo a aquel en el cual se ha permitido que la utilización de la energía atómica para producir bombas afecte a la posibilidad, sumamente necesaria, de reemplazar mediante esa energía nuestras reservas de carbón y de petróleo que se encuentran a pocos siglos, si no son décadas, de agotarse completamente. Observe el lector que las armas nu-

cleares no hacen competencia a las compañías de producción de energía eléctrica.

Recordemos que la máquina automática, cualquiera que sea nuestra posición frente a los sentimientos que pueda tener o no, es el exacto equivalente económico del trabajo de un esclavo. Cualquier obrero que entre en competencia con la labor de los siervos debe aceptar las condiciones de estos últimos. Es evidente que ello producirá una situación en el mercado de trabajo al lado de la cual la crisis presente y hasta la depresión de la tercera década de este siglo parecerán problemas agradables. Arruinará muchas industrias, probablemente hasta aquellas que se hayan aprovechado de las nuevas posibilidades. Pero no hay nada en la tradición industrial que impida a un comerciante ganar rápida y seguramente y huir antes que lo agarre la catástrofe.

Así, pues, la nueva revolución industrial es un arma de dos filos. Podrá utilizarse en beneficio de la humanidad, pero sólo si ésta sobrevive tanto tiempo como para llegar a un período en el que sus ventajas sean posibles. Podrá utilizarse para destruir a la humanidad y, si no se la usa inteligentemente, llegará muy lejos en esa dirección. Sin embargo, aparecen en el horizonte algunos rayos de esperanza. Desde la primera edición de este libro, he tomado parte en dos reuniones con representantes del mundo de los negocios y fue para mí una agradable experiencia observar en gran parte de los presentes una conciencia de los peligros sociales de nuestra técnica y de la obligación social de los dirigentes de utilizar los nuevos métodos para beneficio del hombre, para aumentar su tiempo libre y enriquecer su vida espiritual, en vez de emplearlos sólo con vistas a la ganancia y de adorar la máquina como un nuevo becerro de bronce. Encontraremos muchos peligros en el avance, pero existen las raíces de la buena voluntad y no me siento tan pesimista como al publicarse la primera edición de este libro.

X

ALGUNAS MÁQUINAS DE COMUNICACIÓN Y SU FUTURO

Dediqué el último capítulo a considerar los problemas de la repercusión en las industrias y en la sociedad de ciertas máquinas de regulación que ya ahora demuestran cierta capacidad para reemplazar el trabajo humano. Sin embargo, una gran variedad de problemas que conciernen a los autómatas no tiene nada que ver con nuestro sistema industrial, sino que sirven para ilustrar y arrojar una viva luz sobre las posibilidades de los mecanismos de comunicaciones en general o para propósitos semimédicos: prótesis y reemplazo de funciones que algunos desdichados individuos han perdido total o parcialmente. La primera máquina que discutiremos fue construida con propósitos teóricos para aclarar experimentalmente una investigación sobre el papel, efectuada por mí años antes en colaboración con mis colegas los doctores Arturo Rosenblueth y Julián Bigelow. Supusimos que el mecanismo del acto volitivo coincide por su naturaleza con la retroalimentación; de acuerdo con esto, buscamos en la actividad libre del hombre las características de ruptura que aparecen en los mecanismos de retroalimentación cuando se les sobrecarga.

El caso más simple de ruptura se manifiesta como una oscilación, durante un proceso en el que se trata de alcanzar un cierto fin; la oscilación que aparece únicamente cuando el proceso es invocado de un modo activo. Eso corresponde bastante bien al fenómeno que en el hombre ha dado en llamarse *tre-*

mor intencional; cuando el paciente trata de agarrar un vaso de agua, la mano tiembla cada vez más, sin poderlo levantar.

Existe otro tipo de temblor que, en algunos aspectos, es diametralmente opuesto al anterior. Se le llama *parkinsonismo* o enfermedad de Parkinson; todos hemos tenido ocasión de observarlo en los ancianos, en los que aparece como un temblequeo. En esos casos, el paciente lo experimenta aun en reposo y, de hecho, si la enfermedad no está muy avanzada, sólo entonces. Cuando se intenta ejecutar una tarea definida, el temblor disminuye hasta tal punto que, en las primeras etapas de la enfermedad, la víctima puede tener éxito hasta como cirujano ocular.

Nosotros tres asociamos el tremor parkinsoniano con un aspecto de la retroalimentación algo distinto de la relacionada con la ejecución de un propósito. Para llevar a cabo exitosamente un fin propuesto, las diversas articulaciones que no están directamente asociadas con él deben mantenerse en un tono o estado de tensión débil, de tal modo que exista un apoyo efectivo para la contracción final muscular que sirve al propósito prefijado. Para hacer esto se necesita un mecanismo de retroalimentación secundario cuyo asiento en el cerebro no parece ser el cerebelo, pues éste es la estación central del mecanismo cuya ruptura se traduce en el temblor intencional. Se llama retroalimentación de postura a esta segunda clase.

Puede demostrarse matemáticamente que, en ambos casos, la retroalimentación es demasiado intensa. Cuando se considera la que es importante en el parkinsonismo resulta que la voluntaria, reguladora del movimiento principal, tiene una dirección opuesta a la de postura en lo que respecta a los movimientos regulados por esta última. En consecuencia, la existencia de un propósito tiende a disminuir la amplificación excesiva de la retroalimentación de postura y puede muy bien rebajarla por debajo del nivel de oscilación. Conocíamos muy bien esas cosas teóricamente, pero hasta hace muy poco tiempo no nos habíamos tomado el trabajo de producir un modelo en funcionamiento. Sin embargo, era deseable construir un aparato de demostración que actuase de acuerdo a nuestras teorías.

El profesor J. B. Wiesner, del laboratorio de Electrónica del Instituto de Tecnología de Massachusetts, discutió conmigo la posibilidad de construir una máquina de tropismos, o sea, una con un propósito simple, cuyas partes fueran ajustables en suficiente medida para mostrar los principales fenómenos de la retroalimentación voluntaria y la que hemos llamado de postura, así como su ruptura. Por sugestión nuestra, el señor Henry Singleton se encargó de construirla, labor que llevó a cabo de manera brillante y exitosa. Tiene dos modos de acción: en uno de ellos es positivamente fototrópica y busca la luz, mientras que en el segundo el tropismo es negativo, huyendo de ella. Dimos dos nombres distintos a la máquina, según ambos modos de funcionamiento: la *polilla* y la *chinche*. Consiste en un carro pequeño de tres ruedas con un motor para el movimiento unido al eje posterior. La rueda delantera está accionada por una palanca que hace de timón. El vehículo lleva dos células foto-eléctricas sobre las que incide la luz frontal, en una la del cuadrante derecho, en otra la del izquierdo. Ambas forman los brazos opuestos de un puente cuya corriente es reversible y pasa por un amplificador y de ahí a un motor de posición, que regula la posición de un contacto con un potenciómetro. El otro contacto está regulado también por otro motor de posición, que acciona al mismo tiempo el bastón. La corriente de salida del potenciómetro, que representa la diferencia entre la posición de ambos motores, pasa a otro amplificador ajustable y de ahí al otro motor de posición, regulando así al timón.

Según la dirección de la corriente de salida, el instrumento se dirigirá hacia el cuadrante que recibe una luz más intensa o se alejará de él. En cualquiera de los dos casos, tiende a equilibrarse automáticamente. Existe, pues, una retroalimentación que depende de la fuente luminosa, yendo de ésta a la célula fotoeléctrica y de ahí al sistema de pilotaje mediante el cual se regula el movimiento y se cambia el ángulo de incidencia de la luz

Esta retroalimentación tiende al mismo propósito que el de un tropismo negativo o positivo. Es análoga a la retroalimenta-

ción voluntaria, pues en el hombre podemos considerar que un acto volitivo es una elección entre varios tropismos. Cuando se la sobrecarga, aumentando la amplificación, el carrito, o sea la "polilla" o la "chinche", según la dirección de su tropismo, acudirá a la luz o se alejará de ella en oscilaciones cuya amplitud aumenta. Ese es un fenómeno muy parecido al tremor intencional asociado a una lesión del cerebelo.

El mecanismo que determina el ángulo del timón contiene otra retroalimentación que puede considerarse postural y que pasa del potenciómetro al segundo motor y de vuelta al mismo potenciómetro; su punto cero está fijado por la corriente de salida de la primera retroalimentación. Si experimenta ésta una sobrecarga, el timón pasa por otra clase de tremor que aparece cuando no hay luz, es decir, cuando no se proporciona un propósito a la máquina. Teóricamente, esto se debe a que, en lo que respecta al segundo mecanismo, la acción del primero es contraria a su propia retroalimentación, pues tiende a disminuir su volumen. En el hombre eso equivale a lo que hemos designado enfermedad de Parkinson.

Hace poco tiempo, recibí una carta del doctor Grey Walter del Instituto Neurológico Burden de Bristol, Inglaterra, en la que expresa su interés por la "polilla" y la "chinche" y me habla de un mecanismo suyo análogo que difiere del mío en tener un propósito definido pero variable. Textualmente dice: "Hemos incluido otras características además de la retroalimentación negativa, y esas características proporcionan a la máquina una actitud exploratoria y otra ética frente al universo, además de una puramente trópica." En el capítulo de este libro acerca del aprendizaje se discutió la posibilidad de ese cambio en la forma de conducta que tiene un interés fundamental para la máquina de Walter; por el momento, no sé qué medios utiliza para conseguir ese tipo de comportamiento.

La "polilla" y la máquina trópica perfeccionada del doctor Walter parecen ser a primera vista simples manifestaciones de habilidad técnica o, a lo más, comentarios mecánicos a un texto filosófico. Sin embargo, tienen cierta utilidad definida. El Cuer-

po Médico del ejército de los Estados Unidos ha tomado fotografías de la "polilla" para compararlas con las de casos reales de tremor nervioso y ayudar así a los neurólogos militares.

Existe una segunda clase de máquinas de las que nos hemos ocupado también y que tienen un valor clínico más directo y de importancia inmediata. Pueden utilizarse para compensar pérdidas de un mutilado o deficiencias sensoriales, así como para proporcionar nuevas habilidades potencialmente peligrosas a los que ya son poderosos. La contribución de esas máquinas puede extenderse a producir mejores miembros artificiales o instrumentos que permitan a un ciego leer las páginas de un libro ordinario, transformando las formas visuales en auditivas, así como procurarle medios similares de advertir la aproximación de un peligro y, por tanto, una mayor libertad de movimientos. En particular, podremos utilizarlas para ayudar a los que son completamente sordos. Las de esta clase son probablemente las más fáciles de construir, en parte, por ser la técnica telefónica la mejor estudiada y la más familiar de las comunicativas; en parte, por ser la carencia del sentido auditivo en gran medida, la privación de compartir libremente la conversación; y en parte, porque la información útil que contiene el habla puede concentrarse en un ámbito tan estrecho que no sobrepase la capacidad del sentido del tacto.

Hace algún tiempo, el profesor Wiesner me dijo que se interesaba por la posibilidad de construir un aparato para los totalmente sordos y que deseaba conocer mis puntos de vista sobre el tema. Se los di y resultó que los dos coincidíamos en gran parte. Conocíamos las investigaciones efectuadas en los laboratorios de la Bell Telephone Company y su relación con otras anteriores sobre el *Vocoder*. Sabíamos que el *Vocoder* daba una medida mejor que la de cualquier otro método anterior de la cantidad de información que era necesario trasmitir para que el lenguaje fuera inteligible. Sin embargo, ambos creíamos que el habla visible tiene dos desventajas: no parece fácil de producir con un aparato portátil y plantea severas demandas al sentido de la vista, relativamente más importante para el sordo

que para los demás. Considerando el asunto sólo en primera aproximación, resultó que era posible transferir al sentido del tacto el principio utilizado en el instrumento del lenguaje visible, por lo que decidimos que esa sería la base de nuestro instrumento.

Muy poco después de iniciar nuestros trabajos, encontramos que los laboratorios Bell habían considerado también la posibilidad de utilizar las sensaciones táctiles y así lo habían indicado en sus pedidos de patentes. Tuvieron la bondad de advertirnos que no habían efectuado experimentos sobre el tema y que nos concedían entera libertad para proseguir nuestras propias investigaciones. Confiamos el proyecto y la creación del aparato al señor Leon Levine, que había obtenido su título en el Laboratorio de Electrónica. Previmos además que el problema del adiestramiento sería una gran parte del trabajo necesario para asegurar que nuestro dispositivo tuviese realmente aplicación; en esta parte, aprovechamos los consejos del doctor Alexander Bavelas, de nuestro Departamento de Psicología.

El problema de interpretar el habla mediante algún sentido distinto del oído, como el del tacto, desde el punto de vista del lenguaje, puede tener la siguiente interpretación. Como ya lo hemos dicho, podemos distinguir *grosso modo* tres etapas del habla y dos traducciones intermedias entre el mundo exterior y el sujeto que recibe la información. La primera consiste en los símbolos acústicos que se reciben como vibraciones del aire; la segunda, o sea la fonética, consiste en los diversos fenómenos que ocurren en el oído interno y las partes asociadas del sistema nervioso; la tercera, o sea la semántica, representa la transferencia de esos símbolos a una experiencia de significado.

En el caso de la persona sorda, existen todavía la primera y la tercera etapas, pero falta la segunda. Sin embargo, es perfectamente posible imaginarse que podamos reemplazarla dando un rodeo, evitándola, pasando, por ejemplo, por el sentido del tacto. En este caso, se efectúa la traducción entre la primera etapa y la segunda, no mediante algún mecanismo psicofísico nervioso del que disponemos desde el nacimiento, sino por obra

de un sistema artificial, construido por el hombre. No es accesible a nuestra inspección el paso de la nueva etapa secundaria a la tercera, pero equivale a la formación de un nuevo sistema de hábitos tales como los que desarrollamos al aprender a manejar un vehículo. En el estado actual de nuestro aparato, está resuelto el paso de la primera a la segunda etapa, aunque han de superarse todavía algunas dificultades técnicas. Estudiamos ahora el proceso del aprendizaje, es decir, el paso de la segunda a la tercera etapa; en nuestra opinión, los resultados son sumamente prometedores; el mejor del que podemos enorgullecernos hasta ahora consiste en un vocabulario de doce palabras; al efectuar una serie de ochenta repeticiones al azar, el sujeto cometió sólo seis errores.

En nuestras investigaciones, debemos recordar siempre ciertos hechos. El primero de ellos, como ya lo hemos dicho, es que el oído no sólo es un sentido de comunicación, sino un sentido de comunicación cuya utilidad principal consiste en establecer una relación con otros individuos. Además, corresponde a ciertas actividades comunicativas de nuestra parte: el habla. Son importantes sus otros usos, como la recepción de los sonidos naturales y la apreciación de la música, pero no son tan importantes como para tener por sorda a una persona incapaz de oírlos, si pudiese mantener una comunicación hablada. En otras palabras, el oído tiene la propiedad siguiente: si estuviésemos privados de todas sus ventajas, excepto la de mantener relación con nuestros semejantes mediante el lenguaje, sufriríamos sólo una deficiencia mínima.

En lo que respecta a la prótesis sensorial, debemos considerar todo el proceso del habla como unidad. Se observa inmediatamente cuán esencial es esto al considerar el lenguaje de los sordomudos. En estas personas no es imposible ni excesivamente difícil educarlas para que lean el movimiento de los labios de tal modo que alcancen una capacidad tolerable para recibir los mensajes de otros. En cambio, con muy pocas excepciones, el resultado de la mejor y más moderna enseñanza de esta clase conduce a que la gran mayoría de los sordomudos, aunque

aprendan a utilizar los labios y la boca para producir sonidos, tienen una entonación dura y grotesca que representa una manera sumamente inefectiva de enviar un mensaje.

La dificultad consiste en que, para esas personas, la conversación se ha roto en dos partes distintas. Podemos producir fácilmente una situación análoga en individuos normales si les proporcionamos un sistema telefónico de comunicaciones en el cual su voz se trasmite a sus propios oídos. Es muy fácil construir esos sistemas de audífono muerto; las compañías telefónicas han considerado su utilización, pero los han rechazado por el terrible sentimiento de impotencia que causan, especialmente la imposibilidad de saber qué parte de la propia voz pasa a la línea. Las personas que los utilizan están siempre obligadas a gritar a voz en cuello para poder estar seguros de que su mensaje ha llegado al conductor.

Volvamos al lenguaje corriente. Vemos que en la persona normal el habla y la audición nunca han sido dos fenómenos distintos; aprender a hablar está condicionado por el hecho de oírse a sí mismo. Para el resultado óptimo no basta que el individuo se oiga hablar en ocasiones distanciadas y que mientras tanto llene las lagunas mediante la memoria. La buena calidad fonética se obtiene sólo cuando el sujeto está sometido a la observación continua y a la autocrítica. Cualquier ayuda que desee prestarse a la persona totalmente sorda debe aprovechar ese hecho y, aunque puede recurrirse a otro sentido como el del tacto, en lugar del auditivo inexistente, debe ser parecida a los actuales aparatos eléctricos para sordos en que sea portátil y pueda ser usada de modo continuo.

El resto de la filosofía de la prótesis auditiva depende de la cantidad de información que se utiliza efectivamente al escuchar. La estimación más grosera de esta cantidad equivale a evaluar el máximo que puede comunicarse sobre una banda de sonido de 10.000 ciclos y una amplitud de unos 80 decibels. Sin embargo, esta carga de comunicación, aunque indica el máximo de lo que probablemente puede hacer el oído, es demasiado grande para representar la información efectiva pro-

porcionada por el habla en la práctica. En primer lugar, el lenguaje, al hablar por teléfono, supone la trasmisión de 3.000 ciclos a lo sumo, y la amplitud no es ciertamente mayor que de 5 a 10 decibles, pero aun así, aunque no exageramos lo que se trasmite al oído, pecamos groseramente por exceso en cuanto a lo que utilizan el oído y el cerebro para reconstruir el lenguaje inteligible.

Ya hemos dicho que las mejores investigaciones efectuadas sobre este problema de estimación son las del *Vocoder* de los laboratorios de la compañía Bell. Puede utilizarse este método para demostrar que, si se divide el lenguaje humano en cinco bandas a lo más, si se rectifican estas bandas de tal modo que sólo se perciban sus formas exteriores y si se utilizan después para modular sonidos enteramente arbitrarios dentro de su amplitud de frecuencia, el conjunto de estos sonidos es reconocido como lenguaje y hasta casi cabe reconocerlo como el lenguaje de un individuo determinado. Sin embargo, la cantidad de información posible trasmitida, utilizada o no, ha sido reducida a un décimo o un centésimo de la original que existía en potencia.

Cuando distinguimos entre la información utilizada y la desperdiciada, establecemos una diferencia entre la capacidad de codificación del habla percibida por el oído y la capacidad que penetra a través de la red en cascada de etapas sucesivas que forman el oído y el cerebro. La primera interesa a la trasmisión del habla a través del aire y mediante instrumentos intermedios, como el teléfono, todo ello seguido por el oído mismo, pero no por cualquier aparato que exista en el cerebro para entender el lenguaje. La segunda se refiere al poder de trasmisión de todo el complejo: aire - teléfono - oído - cerebro. Naturalmente, puede haber finas inflexiones de la voz que no pasen a través de la estrecha banda del sistema de trasmisión de que hablamos; es difícil estimar la cantidad de información perdida como conducida por esas variaciones de tono, pero parece ser relativamente pequeña. Esta es la idea en la que se basa el *Vocoder.* Las primitivas tentativas de estimación, hechas por

ingenieros, eran defectuosas, pues pasaban por alto el elemento final de la cadena desde el aire hasta el cerebro.

Si acudimos a los otros sentidos de un sordo, comprendemos que, prescindiendo de la vista, todos son inferiores a ella y trasmiten menos información por unidad de tiempo. La única manera mediante la cual podemos conseguir que un sentido inferior como el del tacto funcione con máxima eficacia consiste en enviar a través de él, no toda la información que obtenemos auditivamente, sino una parte seleccionada de lo que podría escucharse que fuera bastante para hacer inteligible el lenguaje. En otras palabras, reemplazamos parte de la función que normalmente está a cargo de la corteza cerebral después de la recepción del sonido, filtrando nuestra información antes que pase por los receptores táctiles. Transferimos, pues, parte de la función de la corteza cerebral a otra artificial y externa. En el aparato que estamos discutiendo, hacemos eso separando las bandas de frecuencia del habla como en el *Vocoder* y trasmitiendo luego estas distintas bandas rectificadas a regiones táctiles separadas espaciadamente, después de haberlas utilizado para modular vibraciones de frecuencias fácilmente perceptibles por la piel. Por ejemplo: pueden enviarse cinco bandas respectivamente a cada uno de los dedos de una mano.

Eso nos proporciona las ideas principales del aparato necesario para la recepción del lenguaje inteligible mediante vibraciones sonoras transformadas eléctricamente en sensaciones táctiles. Hemos avanzado ya lo suficiente para saber que los caracteres de un considerable número de palabras se distinguen suficientemente entre sí y son lo bastante parecidos en un número de personas diversas para que sean reconocidos sin un intenso entrenamiento previo. A partir de aquí las investigaciones deben concentrarse en métodos más completos de educación de los sordomudos para que aprendan a reconocer los sonidos. En la parte técnica existen problemas considerables que se refieren a la posibilidad de crear un aparato portátil y a la reducción de su gasto de energía, sin pérdida sustancial de su capacidad informativa. Estas cuestiones están todavía *sub judice*. No deseo

dar falsas o prematuras esperanzas a los afligidos por esa incapacidad o a sus amigos, pero creo poder decir que las perspectivas de éxito distan muchísimo de ser nulas.

Desde la publicación de la primera edición de este libro otros investigadores han desarrollado nuevos dispositivos especiales para dilucidar algunos puntos de la teoría de las comunicaciones. Ya he mencionado en un capítulo anterior los homeóstatos del doctor Ashby y las máquinas algo análogas del doctor Grey Walter. Permítaseme mencionar aquí algunas anteriores de este último investigador, algo parecidas a mi "polilla" y mi "chinche", pero que fueron construidas para un propósito distinto. Cada elemento de estas máquinas posee una luz que puede estimular los demás. Si se pone en funcionamiento cierto número de ellos al mismo tiempo, aparecen agrupamientos y reacciones mutuas que un experto en psicología animal interpretaría sociológicamente, si ocurriera en entes de carne y hueso en vez de bronce y acero. Es la iniciación de una nueva ciencia del comportamiento mecánico, aunque sea algo que pertenece enteramente al futuro.

En el Instituto de Tecnología de Massachusetts, ciertas circunstancias han dificultado la prosecución del trabajo sobre el guante auditivo, aunque todavía existe la posibilidad de su desarrollo. Mientras tanto la teoría, ya que no los detalles del dispositivo, ha conducido a algunos perfeccionamientos de aparatos que permiten a los ciegos orientarse por un laberinto de calles y edificios. Esas investigaciones se deben en gran parte al doctor Clifford M. Witcher, ciego de nacimiento, que es una notable autoridad y un técnico en óptica, ingeniería eléctrica y las otras ciencias necesarias para esos trabajos.

Un dispositivo de prótesis que promete mucho pero que no ha experimentado ningún desarrollo real ni ninguna crítica definitiva es un pulmón artificial en el que la activación del mecanismo respiratorio depende de señales, eléctricas o mecánicas, de los músculos pertinentes debilitados, pero no enteramente destruidos, del propio paciente. En este caso, la retroalimentación en la médula y el cerebro de la persona sana se utilizarán

incluso en el paralítico para regular su respiración. Así se espera que el llamado pulmón de acero deje de ser una prisión en la cual el paciente olvida cómo respirar; será un ejercicio que mantendrá en actividad sus facultades residuales de respiración, siendo posible que se reconstruyan así hasta tal punto que pueda respirar por sí mismo y escapar a la maquinaria en la que se le encierra.

Hasta el momento, hemos discutido la construcción de aparatos que, en lo que respecta al gran público, parecen compartir el distanciamiento característico de la ciencia teórica por las necesidades humanas inmediatas o que son beneficiosos para las personas con defectos físicos. Llegamos ahora a otra clase que posee algunas posibilidades sumamente siniestras. Es bastante curioso que entre ellas se encuentre la máquina de jugar al ajedrez.

Hace algún tiempo, sugerí un modo de utilizar una de las modernas máquinas de calcular para jugar una partida de ajedrez bastante pasable. En estas investigaciones, sigo un sendero que tiene una larga historia. Poe estudió una fraudulenta máquina de jugar al ajedrez debida a Maelzel y desinfló el globo demostrando que funcionaba merced a un ser humano sin piernas que se metía dentro de ella. La máquina que me imagino es genuina y aprovecha algunos recientes progresos de las de calcular. Es fácil construir una que juegue pobremente, de acuerdo con las reglas. Es una tarea sin esperanza construir una que lo haga perfectamente, pues requeriría demasiadas combinaciones. El profesor Johann von Neumann, del Instituto de Estudios Superiores de Princeton, ha comentado esta dificultad. Sin embargo, no es fácil ni imposible construir una que jugará lo mejor posible para un número limitado de jugadas, digamos dos, y que dejará el tablero en la posición más favorable de acuerdo con algún método más o menos fácil de evaluación.

Las actuales máquinas ultrarrápidas de calcular pueden actuar como jugadoras de ajedrez, aunque podría producirse una mejor, a un precio exorbitante, si decidiéramos construirla exclusivamente para ese fin. Su velocidad es suficiente para evaluar

toda posibilidad, teniendo en cuenta las dos próximas jugadas, durante el tiempo legal de una sola. El número de combinaciones aumenta aproximadamente en progresión geométrica. Así, pues, la diferencia entre el cálculo de todas las posibilidades después de dos jugadas y el mismo número después de tres es enorme. No hay posibilidad de jugar una partida, algo así como 50 jugadas, en un tiempo razonable. Sin embargo, sería posible para seres lo bastante longevos, como lo ha demostrado von Neumann; un juego perfectamente conducido por ambas partes conduciría a una partida siempre ganada por las blancas o siempre por las negras o, más probablemente, siempre a un empate.

El señor Claude Shannon, de los laboratorios Bell, ha sugerido una máquina de acuerdo a las mismas ideas de la de dos jugadas propuesta por mí. Su evaluación de la posición final después de dos movimientos tendría en cuenta el dominio del tablero, la protección mutua de las piezas, su número, el jaque y el jaque mate. Si después de dos jugadas, el juego fuera inestable por la existencia de un jaque o de una pieza importante en una posición que puede tomarse, el jugador mecánico haría una o dos jugadas más hasta que el juego fuera estable. No sé cuánto alargaría esto la partida por encima del límite legal, aunque tampoco estoy seguro de que podamos ir muy lejos en esta dirección, sin meternos en dificultades con el tiempo a las velocidades presentes.

Coincido con Shannon en que una máquina de esa clase jugaría ajedrez como un aficionado muy bueno y hasta posiblemente como un maestro. Su juego sería rígido y carecería de mucho interés, pero sería mucho más seguro que el de cualquier ajedrecista humano. Como lo hace notar Shannon, es posible introducir en ella un elemento de arbitrariedad en sus operaciones, para evitar su constante derrota, de manera puramente sistemática, por una rígida secuencia dada de jugadas. Puede introducirse esa arbitrariedad en la evaluación de la posición final después de dos jugadas.

La máquina jugaría gambitos y probablemente terminaría

las partidas como un jugador humano, utilizando el conjunto conocido de gambitos y terminaciones. Otra más perfecta guardaría en una cinta todas las partidas que ha jugado y complementaría los métodos que ya hemos indicado mediante una investigación de todas las anteriores, para encontrar algo adecuado, es decir, mediante el aprendizaje. Aunque hemos expuesto la posibilidad de construir máquinas capaces de aprender, es muy imperfecta todavía la técnica de proyectarlas y utilizarlas. No ha llegado aún la hora de construir una máquina de jugar al ajedrez de acuerdo a ese principio, pero probablemente no está muy lejos.

Una máquina de esa clase capaz de aprender podrá tener una actividad sumamente variada, de acuerdo a la calidad de los jugadores contra los que se la haya empleado. La mejor manera de obtener una máquina maestra consistirá probablemente en enfrentarla a una amplia variedad de buenos ajedrecistas. Por otra parte, una máquina bien proyectada podrá arruinarse más o menos por la elección poco juiciosa de sus opositores. También se echa a perder un buen caballo, si se permite que lo maltraten los malos jinetes.

En este tipo de máquinas, conviene distinguir lo que puede y lo que no puede aprender. Es posible construir una que posea una preferencia estadística por ciertas formas de conducta, sin que ello excluya otras; también es factible determinar de antemano ciertos rasgos de conducta de manera rígida e inalterable. Llamaremos a la primera clase de determinación *preferencia* y a la segunda *constricción.* Por ejemplo: si no se introducen desde el principio en la máquina las reglas del ajedrez como constricciones y si se proporciona a la máquina la capacidad de aprender, puede convertirse sin previo aviso en otra que ejecute una tarea totalmente distinta. En cambio, aquella en la que se han introducido como constricciones las reglas de juego, puede seguir siendo capaz de aprender en lo que respecta a la táctica y los planes de acción.

El lector podrá preguntarse la razón de que nos interesemos por esa clase de máquinas. ¿Son algo más que otro caso de

vanidad inútil y sin importancia, con el que los especialistas buscan mostrar su preciosismo a un mundo que, según ellos esperan, abrirá la boca y se asombrará de sus éxitos? Como hombre honrado, no puedo negar que existe un poco de ostentoso narcisismo, por lo menos en mí. Sin embargo, como el lector verá muy pronto, no es el único elemento motor, ni tampoco el más importante para el profano.

El señor Shannon ha publicado algunas razones para demostrar que esas investigaciones tienen mayor importancia que la de una simple curiosidad, interesante sólo para los jugadores. Entre otras posibilidades, sugiere que esa máquina puede ser la primera etapa para construir otra capaz de evaluar una situación militar y determinar la mejor jugada en un momento especificado. No piense el lector que hablo ligeramente. El gran libro de von Neumann y Morgenstern sobre la *Teoría de los juegos* ha hecho una gran impresión en el mundo y la menor no ha sido sobre Washington. Cuando el señor Shannon habla del desarrollo de tácticas militares, no dice tonterías, sino que discute una contingencia inminente y peligrosa.

En un periódico parisiense bien conocido: *Le Monde*, del 28 de diciembre de 1948, un fraile dominico, el padre Dubarle, publicó una aguda crítica de mi libro: *Cibernética.* Citaré una sugestión suya que expone algunas de las terribles consecuencias de la máquina de jugar al ajedrez, cuando esté completamente desarrollada y se la meta en una armadura:

> Una de las más fascinadoras perspectivas que se abren es la de la dirección racional de los asuntos humanos, en particular, de los que interesan a las comunidades y parecen presentar una cierta regularidad estadística, tal como el desarrollo de la opinión pública. ¿No es posible imaginarse una máquina capaz de coleccionar este o aquel tipo de información, como, por ejemplo, la información sobre la producción y el mercado, determinando después, como función de la psicología media del ser humano y de las cantidades que es posible medir en un caso dado, el futuro probable de una situación determinada? ¿No es posible imaginarse un aparato estatal que comprenda todos los sistemas de decisiones políticas, sea bajo un régimen de numerosos estados esparcidos por toda la tierra o bajo el aparentemente mucho más simple de un solo gobierno humano de este planeta? Por el

momento nada nos impide imaginarlo. Podemos soñar acerca de una época, en la que la *machine à gouverner* [1] pueda suplantar, para bien o para mal, la ineficacia actualmente evidente del cerebro, cuando éste se ocupa de la acostumbrada maquinaria política.

En todo caso, la realidad humana no admite una determinación tajante y segura como ocurre con los datos numéricos. Sólo admite el cálculo de su valor probable. Una máquina que trate esos fenómenos y los problemas que plantean, debe emprender esa tarea con un pensamiento probabilístico más que determinista, como aparece, por ejemplo, en las modernas máquinas de calcular. Esto conduce a que su tarea sea más complicada, pero no imposible. La máquina de predicción que determina la eficacia del fuego antiaéreo es un ejemplo de ello. Teóricamente, la predicción temporal no es imposible, así como tampoco lo es la determinación de la decisión más favorable, por lo menos dentro de ciertos límites. La posibilidad de máquinas que juegan, por ejemplo, al ajedrez, parece demostrarlo. Pues los fenómenos humanos que forman el objeto del gobierno pueden ser comparados a juegos en el sentido que von Neumann ha tratado matemáticamente. Aunque estos juegos tienen un conjunto incompleto de reglas, hay otros cuyo número de jugadores es muy grande y de datos extremadamente complejos. Las *machines à gouverner* definirán al Estado como el jugador mejor informado en cualquier situación y el único coordinador supremo de todas las decisiones parciales. Son privilegios enormes; si se adquieren científicamente, permitirán al Estado derrotar en cualquier circunstancia a todo jugador humano distinto de sí mismo, ofreciéndole el siguiente dilema: ruina inmediata o cooperación planeada. Eso será la consecuencia del juego mismo, sin ninguna violencia exterior. Los amantes del mejor de los mundos tienen algo para soñar.

A pesar de todo esto y quizás afortunadamente, la *machine à gouverner* no estará a nuestra disposición en un futuro cercano. Pues además de los muy serios problemas que plantean todavía el volumen de información y la rapidez de su elaboración, la cuestión de la estabilidad de la predicción está más allá de lo que podemos soñar. Pues los fenómenos humanos son asimilables a juegos con reglas incompletamente definidas y que además son funciones del tiempo. Su variación depende tanto del detalle efectivo de la situación producida por el juego mismo como del sistema de reacciones psicológicas de los jugadores frente a los resultados obtenidos en cada instante.

Pueden ser aun más rápidas. Un excelente ejemplo parece ser el de la encuesta Gallup sobre la elección de 1948. Todo esto no sólo tiende a complicar el grado de los factores que influyen en la predicción, sino que probablemente hacen radicalmente estéril la manipulación

[1] En francés en el original: máquina de gobernar. *(N. del T.)*

mecánica de situaciones humanas. Por lo que se puede juzgar, sólo dos condiciones aseguran la estabilidad en el sentido matemático de la voz. Por una parte, una ignorancia suficiente de gran parte de los jugadores, explotada por uno experimentado que además pueda establecer un método para paralizar la conciencia de las masas; por otra parte, la buena voluntad suficiente para permitir a cada cual, en pro de la estabilidad del juego, remitir sus decisiones a uno o unos pocos jugadores que posean privilegios arbitrarios. Esta es una dura lección de seca matemática, aunque arroja cierta luz sobre la aventura de nuestro siglo: la duda entre una turbulencia indefinida de los negocios humanos y la aparición de un prodigioso Leviatán en comparación con el cual el de Hobbes era sólo una ligera broma. Actualmente corremos el riesgo de un gran Estado Mundial, en el que la injusticia primitiva, deliberada y consciente, sea la única condición posible de la felicidad estadística de las masas, algo peor que el infierno para toda inteligencia clara. Tal vez no fuera una mala idea que los creadores actuales de la cibernética asociasen a su grupo, compuesto de hombres que provienen de todos los horizontes a la ciencia, a algunos antropólogos serios y tal vez algún filósofo que tenga curiosidad por los asuntos mundiales.

La *machine à gouverner* del padre Dubarle no nos asusta, pues no hay ningún peligro de que adquiera el gobierno autónomo sobre la humanidad. Es demasiado grosera e imperfecta para tener la milésima parte de la conducta teleológica e independiente del ser humano. El peligro real, sin embargo, consiste en que esas máquinas, aunque incapaces por sí mismas, puedan ser utilizadas por un ser humano, o por un grupo de ellos, para aumentar su predominio sobre el resto de la especie o en que los conductores intenten manejar la población, no mediante las mismas máquinas, sino utilizando técnicas políticas tan estrechas y tan indiferentes a las posibilidades espirituales como si hubieran sido concebidas mecánicamente. La gran debilidad de la máquina, que nos ha salvado hasta ahora de su dominación, es que aún hoy no puede tener en cuenta la vasta amplitud de posibilidades que caracteriza cualquier situación humana. El predominio de la máquina presupone una sociedad que se encuentre en las últimas etapas de entropía creciente y en la que son nulas las diferencias estadísticas entre los individuos. Afortunadamente todavía no hemos llegado a esa etapa.

Pero aun sin la máquina estatal del padre Dubarle, se desarrollan actualmente nuevos conceptos de guerra, o de conflictos económicos y de propaganda basados en la *teoría de los juegos* de von Neumann, que es ella misma una teoría de la comunicación, como lo han demostrado ya los hechos desde 1950. He afirmado en un capítulo anterior que esa teoría contribuye a la del lenguaje; ya existen oficinas gubernamentales dedicadas a aplicarla a propósitos militares o casi militares tanto de agresión como de defensa.

En lo esencial, la teoría de los juegos se basa en una disposición de jugadores o coaliciones de ellos, cada uno de los cuales desarrolla una estrategia para alcanzar sus propósitos, suponiendo que sus antagonistas, lo mismo que él, mantienen el proceder más conveniente con vistas a la victoria. Ya se juega la gran partida mecánicamente y en colosal escala. Aunque la filosofía en que se basa no es probablemente aceptable para nuestros actuales antagonistas, los comunistas, hay fuertes indicios para creer que sus posibilidades se estudian ya tanto en Rusia como en los Estados Unidos y que la primera potencia, no contenta con aceptar la teoría tal como nosotros la presentamos, la ha refinado probablemente en algunos aspectos importantes. En particular, gran parte del trabajo, aunque no todo, que hemos efectuado en la teoría de los juegos se basa en la hipótesis según la cual tanto nosotros como nuestros antagonistas tenemos capacidades ilimitadas y que las únicas restricciones impuestas al juego dependen de lo que podemos llamar las cartas que sacamos del mazo o la posición en el tablero. Hay muchas razones para pensar, más por los hechos que por las palabras, que Rusia ha completado esa actitud, considerando las limitaciones psicológicas de los jugadores y especialmente su inclinación a la fatiga, como parte del mismo juego. En lo esencial, existe ya, pues, una especie de *machine à gouverner* en ambos bandos del conflicto mundial, aunque no es un aparato que establece una política, sino una técnica mecanicista que se adapta a las exigencias de un grupo-máquina de hombres dedicados a proyectar una línea de conducta internacional.

El padre Dubarle ha llamado la atención de los hombres de ciencia acerca de la creciente mecanización militar y política del mundo como un grandioso aparato superhumano que funciona según principios cibernéticos. Para evitar los múltiples peligros que ello encierra, tiene mucha razón en insistir sobre la necesidad de antropólogos y filósofos. En otras palabras, como hombres de ciencia, debemos saber lo que es la naturaleza humana y cuáles son sus propósitos innatos, aunque debamos utilizar esos conocimientos como militares o como hombres de Estado. Y tenemos que saber también para qué deseamos dominar al hombre.

Cuando digo que el peligro de la máquina para la sociedad no proviene de la primera sino de lo que el hombre hace de ella no hago más que insistir en la advertencia de Samuel Butler. En *Erewhon* se imaginan máquinas, incapaces de actuar de otra manera, que conquistan a la humanidad utilizando los hombres como órganos subordinados. Sin embargo, no debemos tomar demasiado seriamente la visión de Butler, pues efectivamente en su época, ni él ni ninguno de los que le rodeaban podía entender la verdadera naturaleza de la conducta de los autómatas; sus afirmaciones son incisivas figuras de dicción más que observaciones científicas.

Nuestros periódicos se han hinchado la boca con el *Know-how,* el "saber cómo", de los Estados Unidos desde que tuvimos la desgracia de descubrir la bomba atómica. Existe una cualidad más importante que ésa y no podemos acusar a los Estados Unidos de poseer una cantidad excesiva de ella. Se trata del "saber qué", mediante el cual determinamos no sólo cómo lograr nuestros propósitos, sino además cuáles han de ser. Puedo aclarar la diferencia entre los dos casos mediante un ejemplo. Hace algunos años un distinguido ingeniero de los Estados Unidos compró una costosa pianola. Después de una semana o dos, era evidente que la compra no correspondía a ningún interés particular en la música que producía el aparato, sino a una enorme preocupación por el mecanismo. Para ese señor, la pianola no era un medio de oir música, sino un modo de propor-

cionar a un inventor la oportunidad de mostrar su habilidad para vencer ciertas dificultades de la reproducción musical. Es una actitud estimable en un estudiante de segundo año de bachillerato. Dejo al juicio del lector determinar cuán estimable es eso en una de las personas de las que depende todo el futuro cultural del país.

En los mitos, en los cuentos de hadas, que leímos en la niñez, aprendimos algunas de las verdades más simples y más evidentes. Por ejemplo, si se encuentra un genio dentro de una botella, vale más dejarlo allí; un pescador que pida demasiadas veces las bendiciones del cielo por insistencia de su mujer, terminará exactamente en el mismo lugar en el que empezó. Si se conceden a uno tres deseos, ha de pensarse cuidadosamente lo que se pide. Esas verdades simples y evidentes equivalen en la vida infantil a la cosmovisión trágica que poseyeron los griegos y tienen todavía muchos europeos modernos y que nos falta en los Estados Unidos, país de la abundancia.

Los helenos consideraban el descubrimiento del fuego con emoción dividida. Por una parte, para ellos, como para nosotros, es una bendición. Por otro lado, bajarlo desde el cielo a la tierra era un desafío a los dioses del Olimpo, que no podían menos de castigarlo como un insulto a sus privilegios. Vemos la grandiosa figura de Prometeo, el portador del fuego, el prototipo del hombre de ciencia, un héroe condenado, sujeto por cadenas a las montañas del Cáucaso, mientras los pájaros de presa picotean sus entrañas. Leemos las sonoras líneas de Esquilo en las que el dios encadenado llama a todo el mundo bajo el sol, para que sea testigo de los tormentos que sufre a manos de los habitantes del Olimpo.

El sentido de lo trágico consiste en que el mundo no es un pequeño nido agradable, creado para nuestra protección, sino un vasto ambiente ampliamente hostil, en el que podemos realizar grandes cosas, sólo desafiando a los dioses, acto que trae inevitablemente consigo su propio castigo. Es un mundo peligroso, en el que no hay seguridad, excepto aquella algo negativa de la humildad y la limitación de las ambiciones; en el

que siempre existe un condigno castigo, no sólo para el que peca con consciente arrogancia, sino también para aquel cuyo único crimen es la ignorancia de los dioses y del mundo que le rodea.

Si un hombre con ese sentido trágico no se aproxima al fuego, sino a otra manifestación de poder original, como la fisión del átomo, lo hará con miedo y temblando. No correrá allí donde los ángeles no se atreven a pisar, a no ser que esté dispuesto a aceptar el castigo de los ángeles caídos. Tampoco traspasará calmosamente a la máquina, hecha a su imagen, la responsabilidad de la elección del bien y del mal, sin continuar aceptando la responsabilidad por tal elección.

Ya he dicho que el hombre moderno, especialmente el ciudadano contemporáneo de los Estados Unidos, por mucho "saber cómo" que posea, tiene muy poco "saber qué". Aceptará la destreza superior de las decisiones hechas por la máquina sin inquirir mucho acerca de los motivos y los principios en que se apoyan. Al obrar así, se colocará más tarde o más temprano en la posición del padre en el cuento de W. W. Jacobs: "La pata del mono". Deseó tener cien libras y se encontró en la puerta con el agente de la compañía en la que trabajaba su hijo. El agente venía a entregarle exactamente esa cantidad de dinero como consuelo por el fallecimiento del muchacho en la fábrica. O puede ocurrirle como al pescador árabe de "Las mil y una noches" que rompió el sello de Salomón de la tapa de la botella y dejó escapar al iracundo genio.

Recordemos que existen máquinas que juegan partidas del tipo de la pata del mono o del genio embotellado. Si la construida para tomar decisiones no posee el poder de aprender, dará respuestas completamente literales. ¡Desdichados de nosotros si dejamos que decida nuestra conducta, sin haber examinado previamente la ley según la cual actúa y habernos asegurado previamente de que su comportamiento se basa en principios aceptables para nosotros! Por otra parte, la máquina, como el genio, que puede aprender y tomar decisiones sobre la base de sus experiencias anteriores, no está de ninguna ma-

nera obligada a decisiones análogas a las que hubiéramos tomado nosotros o que nos resulten aceptables. Para la persona que no sabe esto, arrojar el problema de su responsabilidad sobre las máquinas, capaces o incapaces de aprender, es arrojarla a los cuatro vientos y encontrar que vuelve sentada en un torbellino.

He hablado de máquinas, pero no sólo de aquellas que tienen cerebros de bronce y tendones de acero. Cuando se funden los átomos humanos en una organización, en la que se utilizan, no en toda su capacidad como seres humanos responsables, sino como engranajes, palancas y bielas, importa poco que la materia prima sea carne y hueso. *Lo que se usa como un elemento de una máquina es efectivamente parte de ella.* Si confiamos nuestras decisiones a las de metal o aquellas otras humanas que son oficinas, vastos laboratorios, ejércitos y corporaciones, nunca obtendremos las respuestas correctas a nuestras preguntas, a menos que las planteemos correctamente. "La pata del mono" de carne y hueso es algo tan mortífero como cualquier cosa fabricada de hierro y acero. El genio que es una unificadora figura de dicción para toda una corporación es tan terrible como si fuera una enaltecida fórmula de encantamiento.

Es muy tarde y la elección entre el bien y el mal golpea a nuestra puerta.

XI

LENGUAJE, CONFUSIÓN E INTERFERENCIA

En el capítulo IV he hablado de algunas investigaciones muy interesantes efectuadas hace muy poco tiempo por el doctor Benoit Mandelbrot, de París, y el profesor Jacobson, de Harvard, acerca de varios fenómenos del lenguaje, entre otros, la distribución óptima de la longitud de las palabras. No pretendo entrar en los detalles de esas investigaciones en este capítulo, sino desarrollar las consecuencias de ciertas hipótesis filosóficas que han formulado esos dos estudiosos.

Consideran que las comunicaciones son un juego, en el que participan el locutor y el oyente contra las fuerzas de confusión, representadas por las dificultades corrientes de las comunicaciones y por algunos individuos que tratan de interferirlas. Hablando con propiedad, la teoría de los juegos de von Neumann que se aplica en este caso, se refiere a un conjunto de personas que trata deliberadamente de pasar un mensaje y a otro que acudirá a cualquier estrategia para impedir su trasmisión. En sentido estricto, de acuerdo con la teoría de von Neumann, eso significa que el locutor y el oyente cooperan en un plan de acción, bajo el supuesto de que los agentes de interferencia adoptan los mejores métodos para confundirlos, suponiendo éstos a su vez que los primeros han usado óptimos procedimientos hasta el momento actual, etc.

En lenguaje más usual: tanto el conjunto de comunicantes como el de las fuerzas de interferencia están en libertad para utilizar el *bluff,* confundiéndose mutuamente, y en general em-

plearán esa técnica para impedir que una parte sea capaz de obrar sobre el conocimiento seguro de la técnica de la otra. Por consiguiente, ambas partes utilizarán el *bluff*; la fuerza interferente para adaptarse a las nuevas técnicas de comunicación desarrolladas por las que desean el mensaje y éstas para superar cualquier método de interferencia que hayan inventado aquéllas. En lo que a esto respecta, es de enorme importancia la observación de Alberto Einstein, que ya he citado anteriormente y que se refiere al método científico: *Der Herr Gott ist raffiniert aber boshaft ist Er nicht.* ("Dios será sutil, pero no es malvado.")

Lejos de ser un lugar común, eso es una profunda afirmación que se refiere a los problemas del hombre de ciencia. Descubrir los secretos de la Naturaleza requiere una técnica potente y complicada, pero por lo menos podemos esperar una cosa: que, en lo que respecta a la Naturaleza inanimada, cualquier paso dado hacia adelante no produce en ella un cambio de proceder con el deliberado propósito de confundirnos y hacernos fracasar. Quizás tenga esta afirmación algunas limitaciones en lo que se refiere a lo viviente, pues las manifestaciones histéricas se producen a menudo con vistas a un público y con la intención, a menudo inconsciente, de engañarlo. Por otra parte, cuando parece que hemos dominado una enfermedad producida por un germen, éste puede experimentar una mutación y mostrar rasgos que, por lo menos, parecen haberse desarrollado con la deliberada intención de hacernos volver al punto de partida.

Esas anfractuosidades de la Naturaleza, por mucho que molesten al estudioso de las ciencias de la vida, no se encuentran entre aquellas contra las que lucha el físico. La Naturaleza juega limpio y si, después de llegar al pie de una montaña, el físico ve otra en el horizonte delante de él, no ha sido puesta allí deliberadamente para anular el esfuerzo anterior.

Superficialmente podrá parecer que, inclusive en ausencia de una interferencia consciente, la política del investigador debería consistir en proceder cautamente y obrar de tal modo que ni siquiera una Naturaleza maliciosa y mendaz pudiera impedir

el máximo de adquisiciones y transferencia de información. Este punto de vista no se justifica. Las comunicaciones en general y la investigación en particular implican un gran esfuerzo; luchar contra inexistentes fantasmones equivale a gastar energías que valdría más economizar. No podemos pasarnos la vida dedicada a las comunicaciones o a la investigación boxeando con sombras. La experiencia ha convencido plenamente al físico de que cualquier representación de la Naturaleza que no sólo sea difícil de interpretar, sino que se resista activamente a ser interpretada, no se justifica por sus investigaciones anteriores; en consecuencia, para tener éxito en sus trabajos, debe ser ingenuo, hasta deliberadamente inocente, partiendo del supuesto de que trata con un Dios honrado y de que debe plantear sus preguntas acerca del mundo como un hombre decente. Así, pues, la ingenuidad del hombre de ciencia, aunque es una adaptación profesional, no es un defecto profesional. El hombre que encarara la ciencia con el criterio de un funcionario policial emplearía la mayor parte de su tiempo haciendo fracasar trampas que nadie ha puesto ni le pondrá jamás, persiguiendo a sospechosos perfectamente dispuestos a responder cualquier pregunta directa y, en general, haciendo de "ladrones y policías", juego muy de moda actualmente y que se practica dentro de la ciencia oficial y militar. No tengo la más mínima duda de que la mentalidad policíaca de los actuales amos de la administración científica es una de las principales razones de la esterilidad de gran parte de las investigaciones modernas.

Se sigue casi por silogismo que existen otras profesiones, además de la policial, que invalidan a un hombre para el trabajo científico efectivo, tanto por inducirle a desconfiar de la Naturaleza, como por hacerle malicioso en la consideración de la Naturaleza y de las cuestiones que a ella se refieren. Se educa al soldado para mirar la vida como una lucha de hombre contra hombre, aunque no está tan rígidamente apegado a su punto de vista como el miembro de una orden religiosa militante, el soldado de la Cruz, o el de la Hoz y el Martillo. En estos casos, la existencia de un criterio propagandístico es mucho más im-

portante que la naturaleza particular de la propaganda. Importa muy poco si el bando al que uno se ha afiliado es el de Ignacio de Loyola o el de Lenín, siempre que se conceda más importancia a que su partido tenga razón que al mantenimiento de la propia libertad y aun de la propia ingenuidad profesional. Un hombre así está incapacitado para los altos vuelos de la ciencia, cualquiera que sea el bando al que conceda su adhesión, si ésta es absoluta. En nuestros días, cuando casi todas las fuerzas gobernantes, de izquierdas o derechas, exigen del investigador conformidad en lugar de un espíritu abierto, es fácil comprender cuánto ha sufrido la ciencia y qué bajezas y fracasos encierra el futuro para ella.

Ya he indicado que el demonio contra el que lucha el investigador es el de la confusión, no el de la malicia deliberada. Es agustiniana, no maniquea, la idea de que la Naturaleza demuestra tener una tendencia entrópica. Su carencia de habilidad para emprender una política agresiva, deliberadamente enderezada a derrotar al hombre de ciencia, significa que su maldad resulta de una debilidad en el ser humano y no de alguna capacidad específica para el mal que la Naturaleza pueda tener, igual o inferior a los principios de orden en el universo que, local o temporalmente, como se desee, no son probablemente muy distintos de lo que la persona religiosa entiende por Dios. Según San Agustín, lo negro del mundo es negativo y consiste simplemente en la ausencia de blanco, mientras que en el maniqueísmo, ambos colores pertenecen a dos ejércitos opuestos que se encuentran frente a frente en línea de batalla. Hay un sutil maniqueísmo en todas las cruzadas, todas las *jihad* [1] y todas las guerras del comunismo contra el demonio capitalista.

Ha sido siempre difícil mantener la posición de San Agustín. Por el efecto de la más mínima perturbación tiende a deshacerse en un maniqueísmo encubierto. La dificultad emocional de la posición de San Agustín aparece en el dilema de Milton

[1] Así en el original; es voz árabe con la que se designa la *guerra santa* contra los infieles en la que debe participar todo fiel islamita. *(N. del T.)*

de "El Paraíso Perdido": si el demonio es simplemente una criatura de Dios, si pertenece a un universo en el que Él es omnipotente, sirviendo para señalar algunos de los rincones obscuros y laberínticos del mundo, la gran batalla entre los ángeles caídos y las fuerzas del Señor se convierte en algo tan interesante como un encuentro entre luchadores profesionales. Si el poema de Milton ha de tener mayor dignidad que la de una mojiganga, el demonio ha de tener una oportunidad de ganar, por lo menos según su propia estimación, aunque sólo sea una oportunidad remota. Sus mismas palabras en "El Paraíso Perdido" expresan su convicción de la omnipotencia del Señor y la absoluta imposibilidad de triunfar en la lucha contra Él, aunque sus acciones indican, por lo menos emocionalmente, que considera desesperada esa lucha, pero no enteramente inútil, como aserción de sus huestes y de él mismo. Hasta el demonio agustiniano ha de cuidar sus palabras o se convertirá al maniqueísmo.

Cualquier orden religiosa que se base en un modelo militar está sometida a la misma tentación de caer en el maniqueísmo. Ha supuesto que las fuerzas contra las que lucha son un ejército independiente al que está decidida a derrotar, pero que, por lo menos como algo imaginable, podría ganar la batalla y convertirse en la fuerza dominante. Por esa razón, esa orden es intrínsecamente incapaz de fomentar una actitud agustiniana en el investigador; además no tiende a colocar la límpida honestidad intelectual en una posición muy alta de su escala de valores. Están permitidas todas las estratagemas militares contra un enemigo insidioso que utiliza todos los trucos. Así, pues, una orden religiosa militar está casi obligada a conceder un gran valor a la obediencia, la confesión de la fe, y todas las influencias restrictivas que molestan al hombre de ciencia.

Es cierto que nadie puede hablar por la Iglesia, excepto ella misma, pero es igualmente cierto que los que se encuentran fuera de ella pueden y deben tener una cierta actitud propia frente a esa organización y lo que asegura buscar. Es igualmente cierto que el comunismo como fuerza intelectual es lo que los

comunistas dicen que es, pero sus aseveraciones nos obligan sólo en cuanto definición de un ideal y no como descripción de cómo podemos comportarnos frente a una organización específica o un movimiento.

Parece que el punto de vista de Marx era agustiniano; para él, lo malo consistía en la carencia de perfección y no en una fuerza autónoma antagónica de lo bueno. Sin embargo, el comunismo se ha desarrollado en una atmósfera de combate y conflicto, y la tendencia general parece tender a relegar la síntesis final hegeliana, para la cual es apropiada la actitud agustiniana frente al mal, a un futuro que, si no es infinitamente lejano, tiene por lo menos una relación muy atenuada con lo que ocurre actualmente.

Así, por el momento, en cuanto importa a la conducta práctica, el comunismo y muchos elementos eclesiásticos adoptan actitudes que son claramente maniqueas. Ya he indicado que el maniqueísmo es una atmósfera malsana para la ciencia. Por curioso que resulte, esto se debe a que es una atmósfera malsana para la fe. Cuando no sabemos si un fenómeno particular que observamos es obra de Dios o de Satanás, nuestra fe tiembla hasta sus cimientos. Sólo en esas condiciones es posible elegir consciente y significativamente entre ambos; esa elección puede conducirnos al diabolismo o, en otras palabras, a la brujería. Además, sólo en una atmósfera en la que es posible la brujería florece la caza de brujas como actividad importante. No es casualidad que Rusia tenga sus Berias y los Estados Unidos sus Mc Carthys.

He dicho que la ciencia es imposible sin fe. No quiero decir con ello que aquella de la que depende la ciencia sea religiosa por su naturaleza o implique aceptar cualquiera de los dogmas de las religiones corrientes; pero, si no se cree que la Naturaleza está sometida a leyes, no puede haber ciencia. No hay demostración posible de ello. Es un mundo como ese con el que debe conformarse el hombre de ciencia en los países totalitarios de izquierdas o de derechas. Por lo que sabemos, el mundo, a partir de ahora, puede ser algo así como el juego de croquet de

"Alicia en el país de las maravillas", donde las pelotas son erizos, las vilortas son soldados que se van a otra parte del campo y las reglas del juego cambian a cada instante por los caprichosos decretos de la reina. La reina marxista es sumamente arbitraria y la fascista vale tanto como ella.

Lo que dije acerca de la necesidad de la fe en la ciencia es igualmente cierto para un mundo puramente causal y para otro en el que reine la probabilidad. Las observaciones objetivas y desconectadas, por muy numerosas que sean, no pueden demostrar que la probabilidad es una noción válida. Para expresar la misma observación con otras palabras: las leyes de la inducción en la lógica no pueden establecerse inductivamente. La lógica de Bacon, la inductiva, es algo con lo que podemos actuar, no algo que seamos capaces de demostrar; obrar de acuerdo con ello es un acto supremo de fe. Debo decir, en relación con esto, que la frase de Einstein respecto a la decencia de Dios es un credo. La ciencia es un modo de vivir que puede florecer sólo cuando los hombres gozan de libertad para tener una fe. Aquella que seguimos por órdenes impuestas desde afuera no es tal; una comunidad que depende de esa seudofé está condenada a arruinarse a la larga, debido a la parálisis que produce en ella la falta de una ciencia de sano desarrollo.

ÍNDICE

Prólogo 9

I. Historia de la cibernética 15

II. El progreso y la entropía 27

III. Rigidez y aprendizaje: dos formas de conducta comunicativa 45

IV. El mecanismo y la historia del lenguaje 69

V. La organización como mensaje 89

VI. El derecho y las comunicaciones 98

VII. Las comunicaciones, el secreto y la política 105

VIII. El papel del intelectual y del investigador 123

IX. La primera y la segunda revolución industrial .. 128

X. Algunas máquinas de comunicaciones y su futuro 153

XI. Lenguaje, confusión e interferencia 175

Esta edición de 3000 ejemplares,
se terminó de imprimir en
Impresiones Sud América,
Andrés Ferreyra 3767,
en el mes de abril de 1988.

Una de las máximas autoridades en la materia, un estudioso de filosofía y matemáticas que ha desfilado, como alumno o profesor, por las universidades de Harvard, Cambridge, Gotinga, Copenhague y Peiping, por el Instituto Tecnológico de Massachusetts y el Instituto de Cardiología de México, nos expone las maravillas de la cibernética —ciencia y arte que estudia los sistemas de comunicación y regulación en el hombre y la máquina— y sus repercusiones en la sociedad humana. El doctor Norbert Wiener, que fue alto exponente de la contribución científica al esfuerzo bélico de los Estados Unidos en la última conflagración mundial, nos muestra las enormes posibilidades que la cibernética encierra, esas posibilidades que se traducen ya en la ayuda a numerosos enfermos, en la fábrica automática, en los prodigiosos cerebros electrónicos. El autor establece interesantísimas comparaciones entre los seres vivos y las máquinas, describe algunos de los más recientes mecanismos electrónicos y analiza los efectos del progreso técnico en el hombre y la organización social. No hay nada deprimente en este análisis. Al contrario, nos demuestra que, a pesar de transitorios trastornos, se avanza por el buen camino, en cumplimiento de una función liberadora. Gracias a la cibernética, el hombre será más hombre, más poderoso, más libre, más digno de su inteligencia y sus talentos.

ISBN 950-07-0481-1