

DIOS & GOLEM, S. A.

norbert wiener



DIOS & GOLEM, S. A.

norbert wiener



de



Dios y Golem, S. A. es el título de un ensayo escrito en 1964 por Norbert Wiener. En él expresa sus teorías sobre el aprendizaje de las máquinas, su reproducción y el lugar de las mismas en la sociedad, en un trasfondo con referencias religiosas.



Norbert Wiener

Dios y Golem, S. A.

**Comentario sobre ciertos puntos en que chocan cibernética y
religión**

ePub r1.3

Rob_Cole 02.12.2016

Título original: *God and Golem, Inc*
Norbert Wiener, 1964
Traducción: Javier Alejo
Corrector: Luis Guillermo Restrepo Rivas

Editor digital: Rob_Cole
Primer editor: lestrobe (r1.0 a 1.2)
Corrección de erratas: zillium
ePub base r1.2



A Piet Hein por su aliento y su crítica.

Prefacio

Hace algunos años, en *Human Use of Human Beings*^[1], hice un recuento de algunas de las implicaciones éticas y sociológicas de mi trabajo anterior, *Cybernetics*^[2], que es el estudio del control y la comunicación en máquinas y seres vivos. Por entonces, la cibernética era, hasta cierto punto, una idea nueva, y tanto sus implicaciones científicas como las sociales no habían llegado a aclararse completamente. Ahora —unos quince años después— la cibernética ha generado cierto impacto social y científico, y lo ocurrido basta para justificar un nuevo libro sobre una materia conexas.

El problema del desempleo, derivado de la automatización, ya no es una conjetura, sino que se ha convertido en un problema verdaderamente vital de la sociedad moderna. El conjunto de ideas sobre cibernética, de ser un programa para el futuro y una esperanza piadosa, ha pasado a ser ahora una técnica de trabajo en ingeniería, en biología, en medicina y en sociología, y ha experimentado un gran desarrollo interno.

He dado más de una serie de conferencias tratando de esbozar el enfrentamiento de este conjunto de ideas con la sociedad, la ética y la religión, y considero que ha llegado el momento de intentar una síntesis de mis ideas al respecto, de considerar más en detalle las consecuencias sociales de la cibernética. Este libro está dedicado a algunos aspectos de esas consecuencias, en cuyo examen, a pesar de que conservo las ideas y muchos de los comentarios que hice en *Human Use of Human Beings*, puedo considerar el asunto con mayor detalle y amplitud.

En este empeño, deseo reconocer la gran ayuda que recibí de los comentarios de muchos amigos de ambos lados del Atlántico, especialmente de Piet Hein de Rungsted Kyst, en Dinamarca, del Dr.

Lawrence Frank, de Belmont, Massachusetts, y del profesor Karl Deutsch, de la Universidad de Yale, así como de muchos otros. Además, deseo agradecer a mi secretaria, Eva Maria Ritter, su ayuda en la preparación de este material.

Tuve oportunidad de elaborar mis ideas en el curso de varias conferencias que dicte en la Universidad de Yale en enero de 1962, y en un seminario que tuvo lugar en el verano de 1962 en los Colloques Philosophiques Internationaux de Royaumont, cerca de París^[3].

Con todo, este libro, aunque contiene material de mis pláticas en esos dos lugares, ha sido completamente reescrito y reorganizado. Con gratitud a los muchos que han ayudado en este esfuerzo.

NORBERT WIENER

Sandwich, New Hampshire, 30 de agosto de 1963.

I

No me propongo aquí discutir la religión y la ciencia como totalidades sino ciertos puntos de las ciencias en las que he estado interesado —las ciencias de la comunicación y el control— que me parecen cercanos a la frontera en que la ciencia choca con la religión. Deseo evitar esas paradojas lógicas que habitualmente acompañan la extrema (pero usual) pretensión de la religión de tratar con absolutos. Si tratáramos el conocimiento sólo en términos de omnisciencia, el poder sólo en términos de omnipotencia, el culto sólo en términos de Dios Único, nos encontraríamos enmarañados en artificios metafísicos antes de que iniciásemos nuestro estudio de las relaciones entre la religión y la ciencia.

A pesar de ello, hay muchas cuestiones relativas al conocimiento, al poder y al culto que chocan con algunos de los más recientes desarrollos de la ciencia, que muy bien podríamos discutir sin pasar por esas nociones absolutas que están rodeadas de una emoción y reverencia tales, que resulta casi imposible manejadas en forma aislada. El conocimiento es un hecho, el poder es un hecho, y el culto es un hecho, y estos hechos están sujetos a la investigación humana, en forma completamente independiente de una teología aceptada. Como hechos, estas materias están sujetas a estudio, y en este estudio podemos hacer referencia a nuestras observaciones en otros campos relativas al conocimiento, al poder y al culto, más accesibles a los métodos de las ciencias naturales, sin demandar del estudioso, por lo menos, una completa aceptación de la actitud *credo quid incredibile est*^[4].

Podría decirse que empezando de esta manera, fuera de la religión, ya he impedido que la discusión se haga respecto a las relaciones entre la ciencia y la religión, como sugiere la tendencia general de este ensayo. Por

lo tanto, prefiero definir mi tema desde el principio, especificando el ángulo de la materia en que pienso detenerme, y rechazando las cuestiones ajenas a mi propósito específico. Como he dicho, he estado trabajando por varios años en problemas de comunicación y control, ya sea en máquinas, o en organismos vivos; sobre las nuevas técnicas de ingeniería y fisiología conectadas con esas nociones; y sobre el estudio de las aplicaciones de esas técnicas al logro de propósitos humanos. El conocimiento está inextricablemente interrelacionado con la comunicación, el poder con el control y la evaluación de los propósitos humanos con la ética y todo el aspecto normativo de la religión. En consecuencia, reexaminar nuestras ideas acerca de esas materias, con base en los últimos desarrollos de la teoría y la técnica práctica, resulta afín a un estudio detenido de las relaciones entre la ciencia y la religión. Lo que no puede constituir en si mismo un estudio de la ciencia y sus relaciones con la religión, en su más amplio sentido, pero sin duda constituye un prolegómeno indispensable para tal estudio.

En un estudio de esa especie, para llegar a alguna parte, debemos desembarazarnos de las capas superpuestas de prejuicios que aparentemente usamos para cubrir la reverencia que rendimos a las cosas respetables y sagradas, pero en realidad siempre que ello no nos releve del sentimiento de indignación que experimentamos al enfrentamos a realidades desagradables y comparaciones peligrosas.

Para que este ensayo tenga algún significado, debe ser una verdadera disección de fenómenos reales. El espíritu con que será acometido es el de la sala de operaciones, y no el del rito ceremonial de llanto por un difunto. El escrúpulo no tiene cabida aquí —es incluso una blasfemia—, como los modales de cabecera del elegante médico del siglo pasado, con su levita negra y los bisturíes ocultos bajo la solapa de seda de su abrigo.

La religión, además de cualquier otro contenido, tiene con frecuencia algo del porche cerrado de una casa de campo de New England, con sus persianas recogidas, flores de cera bajo un fanal en la repisa de la chimenea, en un atril el retrato del abuelo enmarcado con juncos dorados, y un armonio en nogal negro, nunca tocado, excepto en bodas o funerales. O por otra parte, es la imagen moral de una carroza fúnebre napolitana, uno de

esos carruajes reales negros con vidrieras gruesas y esmeriladas, con sus garañones tocados con penachos de plumas negras, llevando incluso hasta la muerte la afirmación del *status* o en todo caso la aspiración al *status*. La religión es un asunto serio que debemos separar rigurosamente de cualquier consideración sobre valores personales, de menor significación que la religión en sí misma.

He hablado de las capas de prejuicios que obstaculizan nuestro acercamiento a esos problemas en el vital campo común en el que la religión y la ciencia se aproximan:

Debemos evitar examinar a Dios y al hombre en el mismo instante —eso es blasfemia—. Como Descartes, es preciso que mantengamos la dignidad del Hombre, considerándolo sobre bases completamente distintas de las que usamos para estudiar a los animales inferiores. La evolución y el origen de las especies son una profanación de los valores humanos; y tal como lo experimentaron los primeros darwinianos, es muy peligroso para el científico tratar con estas ideas en un mundo básicamente receloso de la ciencia.

Sin embargo, incluso en el campo de la ciencia, es aventurado ir contra las escalas de valores establecidas:

En modo alguno es permisible mencionar al mismo tiempo a los seres vivos y alas máquinas. Los seres vivos lo son en todas sus partes; mientras que las máquinas están hechas de metales y otras sustancias inorgánicas, sin una fina estructura específicamente adecuada para su función intencional o cuasi intencional. La física —o al menos así se supone por lo general— no toma en cuenta el propósito; y el surgimiento de la vida se presenta como algo completamente nuevo.

Si nos apegamos a todos estos tabúes, podríamos adquirir una gran reputación como pensadores conservadores y consistentes, pero contribuiríamos en muy poco al posterior avance del conocimiento. Es el papel del científico —del honesto e inteligente hombre de letras, así como también del sacerdote honesto e inteligente— el mantener experimentalmente opiniones heréticas y prohibidas incluso si es para rechazarlas finalmente. Además, tal rechazo no debe presuponerse desde el principio y constituir meramente un ejercicio espiritual vacío, que se tome desde el principio como un simple juego, en el que se participa sólo para mostrar una actitud espiritual abierta. Es un asunto serio, y debe ser acometido con todo ahínco: ya que sólo tiene sentido si encierra un verdadero riesgo de herejía; y si la herejía encierra un riesgo de condenación espiritual, entonces ese riesgo debe ser acometido honesta y valerosamente. En palabras de los calvinistas: «¿Esta usted dispuesto a ser condenado, para mayor gloria de Dios?».

En este aspecto de crítica honesta y penetrante debemos observar una actitud que ya hemos mencionado, difícil de evitar en discusiones sobre asuntos religiosos: La evasión contenida en el seudosuperlativo. Ya he señalado las dificultades intelectuales que emergen de las nociones de omnipotencia, omnisciencia, y análogas. Tales dificultades se presentan en su forma más cruda en la pregunta planteada con frecuencia por el bromista que boicotea espontáneamente las reuniones religiosas:

—«¿Puede Dios hacer una roca tan pesada que Él no pueda levantar?».

Si Él no puede, hay un límite para Su poder, o por lo menos así lo parece; y si Él puede, esto parece constituir también una limitación a Su poder. Es fácil rechazar esta dificultad como una argucia verbal, pero es algo más que eso. La paradoja de esta cuestión es una de las muchas que giran alrededor de la noción de infinito, en sus múltiples acepciones. Por un lado, la mínima manipulación del infinito matemático introduce la noción de cero sobre cero, o de infinito sobre infinito, o de infinitas veces cero, o de infinito menos infinito. Éstas son las llamadas formas indeterminadas, y la dificultad que disimulan descansa fundamentalmente en el hecho de que el infinito no se ajusta a las características ordinarias de un número o cantidad, de suerte que ∞/∞ para el matemático sólo indica el límite de x/y , cuando x

e y tienden a infinito. Dicho límite puede ser 1 si $y = x$, 0 si $y = x^2$, ó ∞ si $y = 1/x$, y así sucesivamente.

Además, hay otro tipo diferente de infinito que surge de la numeración. Puede demostrarse que esta noción también lleva a paradojas. ¿Cuántos números hay en el conjunto de todos los números? Puede demostrarse que esa pregunta no es legítima, y que aunque uno defina la noción de número, el número de todos los números es más grande que cualquier número. Ésta es una de las paradojas de Frege-Russell y encierra las complejidades de la teoría de conjuntos.

El hecho es que los superlativos omnipotencia y omnisciencia no son verdaderos superlativos sino simplemente formas vagas de indicar un poder y un conocimiento muy grandes. Expresan un sentimiento de reverencia y no una proposición metafísicamente sostenible. Si Dios sobrepasa al intelecto humano, y no puede ser concebido mediante formas intelectuales —y ésta es al menos una posición sostenible— no es intelectualmente honesto embrutecer al intelecto mismo forzando a Dios dentro de formas intelectuales que deben tener un significado intelectual muy definido. Siendo así, cuando encontramos situaciones finitas que parecen arrojar luz sobre algunas de las proposiciones que normalmente se hacen en los libros religiosos, me parece de mala fe hacerlas a un lado porque no tienen el carácter absoluto, infinito y consumado que solemos atribuir a los asertos religiosos.

Esta afirmación da la clave para mis propósitos en este libro. Deseo tomar ciertas situaciones que han sido discutidas en libros religiosos, y tienen un aspecto religioso, pero contienen una estrecha analogía con otras situaciones que pertenecen a la ciencia, y en particular a la nueva ciencia cibernética, la ciencia de la comunicación y el control, tanto en máquinas como en organismos vivos. Me propongo usar analogías limitadas de situaciones cibernéticas para aclarar un poco las religiosas.

Para hacer esto, seguramente tendré que forzar en algo las situaciones religiosas dentro de mi armazón cibernético. Soy absolutamente consciente de la violencia que deberé usar al hacerlo. Mi excusa es que sólo gracias al

bisturí del anatomista tenemos la Ciencia anatómica, y que el bisturí del anatomista es también un instrumento que explora sólo haciendo violencia.

II

Tras estas observaciones preliminares permítaseme volver al verdadero tema de este pequeño libro.

Hay al menos tres cuestiones en la cibernética que me parecen pertinentes a asuntos religiosos. Una de ellas concierne a las máquinas discentes; otra a las máquinas que se reproducen; y otra, a la coordinación de máquina y hombre.

Puedo decir que la existencia de máquinas discentes es conocida. El Dr. A. L. Samuel, de la International Business Machines Corporation, ha diseñado un programa que permite a un computador jugar un juego de damas, y ese computador aprende, o al menos parece que aprende, a mejorar su juego con base en su propia experiencia^[5]. En ello hay ciertos asuntos que precisan confirmación, o por lo menos aclaración; y a ello consagro una sección de este libro.

El aprendizaje es una cualidad que solemos atribuir exclusivamente a los sistemas autoconscientes, y casi siempre a los sistemas vivientes. Es un fenómeno que se presenta en su forma más característica en el Hombre y constituye uno de los atributos que con mayor facilidad puede ligarse con aquellos aspectos del Hombre que son fácilmente asociables a su vida religiosa. En realidad, es difícil concebir cómo cualquier ser que no aprenda podría relacionarse con la religión.

Sin embargo, hay otro aspecto de la vida que está naturalmente asociado a la religión. A Dios se le atribuye haber hecho al hombre a Su propia imagen, y la propagación de la especie sólo puede interpretarse como una función según la cual un ser vivo hace otro a su propia imagen. En nuestro deseo de glorificar a Dios respecto al hombre y al hombre respecto a la

materia, resulta natural suponer que las máquinas no puedan hacer otras máquinas a su propia imagen; que esto se asocia con una aguda dicotomía de los sistemas entre vivos y no vivos; y que incluso se asocia con otra dicotomía entre creador y criatura.

No obstante, cabría preguntarse si las cosas son así. Dedico una sección de este libro a algunas consideraciones que, a mi juicio, demuestran que las máquinas están perfectamente capacitadas para hacer otras máquinas a su propia imagen. El tema sobre el que estoy tratando aquí es al mismo tiempo muy técnico y muy preciso. No debe ser tomado muy en serio como un modelo efectivo del proceso de generación biológica, y mucho menos como un modelo completo de la creación divina; pero tampoco puede dejarse de tomar en cuenta respecto a la luz que arroja sobre ambos conceptos.

Esas dos partes de este libro de conferencias deben considerarse como mutuamente complementarias. El aprendizaje del individuo es un proceso que se da en la vida del individuo, en ontogénesis. La reproducción biológica es un fenómeno que se da en la vida de la especie, en filogénesis, pero la especie aprende como lo hace el individuo. La selección natural darwiniana es una forma de aprendizaje de la especie, que opera dentro de las condiciones impuestas por la reproducción del individuo.

El tercer grupo de temas de este libro está relacionado también con problemas de aprendizaje. Se refiere a las relaciones de la máquina con el ser vivo, y a sistemas que comprenden elementos de las dos clases. Como tal, implica consideraciones de naturaleza normativa y, más específicamente, ética. Conciérne a algunas de las más importantes trampas morales en las que la presente generación de seres humanos está expuesta a caer. También está estrechamente conectado con un gran cuerpo de tradición y leyenda humanas, en el campo de la magia y temas semejantes.

Para empezar con las máquinas discentes, un sistema organizado puede definirse como aquel que transforma un cierto mensaje de entrada en uno de salida, de acuerdo con algún principio de transformación. Si tal principio está sujeto a cierto criterio de validez de funcionamiento, y si el método de transformación se ajusta a fin de que tienda a mejorar el funcionamiento del sistema de acuerdo con ese criterio, se dice que el sistema aprende. Un

juego para ser jugado con reglas fijas, es un tipo muy simple de sistema con un criterio de funcionamiento fácilmente descifrable en el que dicho criterio es el ganar exitosamente el juego de acuerdo con esas reglas. Entre tales juegos, los hay que tienen una teoría perfecta y carecen de interés. El Nim, como fue definido por Charles L. Bouton, y el Tres en Raya^[6], son ejemplos de ellos. En estos juegos no sólo podemos encontrar teóricamente la mejor estrategia para jugados, sino que esa estrategia es conocida en todos sus detalles.

El jugador de un juego de ese tipo (sea el primero o el segundo) puede ganar siempre, o en todo caso empatar, siguiendo la estrategia indicada. En teoría, cualquier juego puede ser llevado a tal condición —ésta es la idea del desaparecido John Von Neumann— pero, una vez que ha sido llevado a ese estado, pierde todo interés, y ya no puede ser considerado ni como un entretenimiento.

Un ser omnisciente, como Dios, podría considerar al ajedrez y las damas como ejemplo de esos juegos de Von Neumann, pero hasta ahora no ha sido humanamente lograda una teoría completa de ellos^[7], y todavía representan genuinos retos al conocimiento y la inteligencia. A pesar de todo, no se juegan en la forma propuesta en la teoría de Von Neumann. Esto es, no los jugamos haciendo el mejor movimiento posible, bajo el supuesto de que un oponente hará el mejor movimiento posible bajo el supuesto de que haremos el mejor movimiento posible, y así sucesivamente, hasta que uno de los jugadores gane o se declaren tablas. En realidad, el ser capaz de jugar un juego a la manera de Von Neumann es equivalente a poseer una teoría completa del juego y haberlo reducido a una trivialidad.

El tema del aprendizaje, y en particular de las máquinas que aprenden a jugar, podría parecer un poco alejado de la religión. Sin embargo, hay un problema religioso para el que esas nociones son relevantes. Es el problema del juego entre el creador y una criatura. Éste es el tema del libro de Job, así como del Paraíso perdido.

En ambas obras religiosas se concibe que el Demonio juega un juego con Dios, por el alma de Job, o las almas de los humanos en general. Ahora bien, de acuerdo con los puntos de vista de la ortodoxia de judíos y cristianos, el Demonio es una de las criaturas de Dios. Cualquier otra

suposición podría conducir a un dualismo moral, con sabor de zoroastrismo y de esa rama bastarda de zoroastrismo y cristianismo que nosotros llamamos maniqueísmo.

Pero si el Demonio es una de las criaturas de Dios, el juego que da contenido al libro de Job y al Paraíso perdido es un juego entre Dios y una de sus criaturas. Un juego de esa especie parece a primera vista una contienda lastimosamente desigual. Jugar un juego con un Dios omnipotente y omnisciente es propio de un idiota; y, como nos han enseñado, el Diablo es un maestro de la astucia. Cualquier sublevación de ángeles rebeldes está predestinada al fracaso. No vale la pena una rebelión manfrediana^[8] de Satán para probarlo. De otro modo, la omnipotencia que para confirmarse precisa de bombardeos celestiales de rayos, de ningún modo sería omnipotencia, sino simplemente un poder muy grande, y la batalla de los ángeles podría haber terminado con Satán en el trono celestial y Dios arrojado a la condenación eterna.

En consecuencia, si no nos perdemos en los dogmas de omnipotencia y omnisciencia, la contienda entre Dios y el Demonio es real, y Dios algo menos que absolutamente omnipotente. Él ésta realmente comprometido en una contienda con su criatura, en la cual podría muy bien perder la partida. Y además, su criatura está hecha por él de acuerdo con su propia y libre voluntad y al parecer deriva todas sus posibilidades de acción de Dios mismo. ¿Puede Dios jugar un juego relevante con su propia criatura? ¿Puede cualquier creador, incluso uno limitado, jugar un juego relevante con su propia criatura?

Al construir máquinas contra las que él juega juegos, el inventor se ha arrogado a sí mismo la función de un creador limitado, sea cual fuere la naturaleza del dispositivo de juego que él hubiese construido. Esto es cierto especialmente en el caso de las máquinas jugadoras que aprenden a través de la experiencia. Como ya lo he mencionado, tales máquinas existen. ¿Cómo operan esas máquinas? ¿Qué grado de éxito han alcanzado?

En lugar de operar a la manera de la teoría de juegos de Von Neumann, lo hacen de un modo más estrictamente análogo al procedimiento del jugador humano ordinario. Están sujetas, en cada etapa, a restricciones que limitan la elección del movimiento siguiente a uno que sea legal de acuerdo

con las reglas del juego. Debe seleccionarse uno de estos movimientos de acuerdo con algún criterio normativo de buen juego.

La experiencia del jugador humano de la partida suministra aquí un número de pistas útiles para la elección de ese criterio. En las damas o en el ajedrez es, en general, desventajoso perder piezas y ventajoso tomar una pieza del oponente. El jugador que conserva su movilidad y posibilidad de elección, así como el jugador que asegura el dominio de un gran número de casillas, se encuentra, usualmente, en mejores circunstancias que su oponente que haya sido menos cuidadoso en esos aspectos.

Esos criterios de buen juego se mantienen a todo lo largo de la partida, pero hay otros que corresponden a etapas particulares de la misma. Al final de la partida, cuando las piezas son pocas y dispersas en el tablero, se vuelve más difícil cercar al oponente para el mate. En el inicio de la partida —y éste es un factor mucho más importante en el ajedrez que en las damas— las piezas están dispuestas de una manera que tiende a hacerlas inmóviles e impotentes, siendo necesario un desarrollo que les permita una salida, tanto para propósito ofensivos como defensivos. Además, en razón de la gran variedad de piezas del ajedrez, en comparación con la pobreza de las damas en ese aspecto: en el hay un importante número de criterios especiales de buen juego, cuya importancia ha sido probada por siglos de experiencia.

Éstas consideraciones pueden combinarse (ya sea en yuxtaposición o de alguna manera más complicada) para obtener una cifra de valuación para el siguiente movimiento que tenga que jugar la máquina. Esto puede hacer sede una manera más o menos arbitraria. Después la máquina compara las cifras de valuación de los movimientos legalmente posibles y selecciona aquél al que corresponda la cifra de valuación más alta. Esto proporciona un camino para automatizar el siguiente movimiento.

Tal automatización del siguiente movimiento no es necesariamente, y ni siquiera usualmente, una elección óptima, pero es una elección, con lo que la máquina puede continuar jugando. Para juzgar la validez de esta forma de mecanización del juego, uno debe despojarse de todas las imágenes de mecanización correspondientes a los dispositivos técnicos usados, o de la

imagen física de humanidad exhibida por el jugador ordinario. Por fortuna, ello es fácil, y es lo que siempre hacemos en el ajedrez por correspondencia.

En el ajedrez por correspondencia, un jugador envía los movimientos por correo al otro, de modo que la única conexión entre los dos jugadores es un documento escrito. Incluso en esta clase de ajedrez, un jugador hábil desarrolla pronto una imagen de la personalidad de su oponente —es decir—, de su personalidad ajedrecística. Sabrá si su oponente es apresurado o cuidadoso, si es fácilmente embaucable o astuto, si capta los garlitos del otro jugador, o si puede ser engañado una y otra vez con la misma estrategia elemental. Repito, todo esto se hace sin más comunicación que el juego mismo de la partida.

Desde este punto de vista, el jugador, sea hombre o máquina, que juega mediante una simple tabla de valuación, seleccionada de una vez por todas e inalterable, puede dar la impresión de una personalidad ajedrecística rígida. Una vez que se ha descubierto su punto flaco, se ha hecho para siempre. Si una estratagema en contra suya ha dado resultado una vez, lo dará siempre. Es suficiente un número muy pequeño de jugadas para determinar su técnica.

Esto es válido también para el jugador mecanizado que no aprenda. Sin embargo, nada hay que impida al jugador mecanizado jugar de una manera más inteligente: Para ello tendría que llevar un registro de las jugadas y partidas anteriores. O sea que, al final de cada partida o cada secuencia de partidas de un tipo determinado, su mecanismo es dedicado a una clase totalmente diferente de actividad.

En el diseño de la cifra de valuación, se introducen ciertas constantes que pueden haber sido elegidas en forma diferente. La importancia relativa de la constante de control, de la de movilidad, y de la del número de piezas podría haber sido 10:3:2, en lugar de 9:4:4^[9]. El nuevo uso de la máquina reguladora es el de examinar partidas ya jugadas y, en atención al éxito obtenido, proporcionar una cifra de valuación; no para las jugadas ya hechas, sino para la elección ponderada en la evaluación de esas jugadas.

De este modo, la cifra de valuación es continuamente reevaluada, de tal manera que se obtenga una cifra de valuación más alta para configuraciones

que se dan principalmente en juegos ganados y una más baja para situaciones que se dan principalmente en partidas perdidas.

El juego puede continuar con esta nueva cifra de valuación, la que puede establecerse de muchas maneras diferentes en cuestiones de detalle. El resultado puede ser que la máquina jugadora de juegos se transforme continuamente a sí misma en una máquina diferente, de conformidad con el desarrollo del juego real.

La experiencia y el éxito, tanto de la máquina como de su oponente humano, desempeñarían un papel en ello.

En el juego contra una máquina de esa especie, que adquiere parte de su personalidad del juego de su oponente, dicha personalidad puede no ser absolutamente rígida.

El oponente podría encontrarse con que las estratagemas que dieron resultado en el pasado fallasen en el futuro. La máquina podría desarrollar una peligrosa sagacidad.

Podría decirse que toda esta inteligencia inesperada de la máquina había sido introducida en ella por su diseñador y programador. Esto es verdadero en un sentido, pero no tiene porqué ser cierto que todos los nuevos hábitos de la máquina hayan sido explícitamente previstos por él. Si ése fuera el caso, él no tendría dificultad en derrotar a su propia creación. Lo que no está de acuerdo con la verdadera historia de la máquina de Samuel.

En realidad, durante un periodo considerable, la máquina de Samuel fue capaz de derrotarlo en forma bastante consistente después de un día o más de estar jugando. Debe aclararse en primer lugar que Samuel, según su propio relato, no era un experto jugador de damas y que con un poco de instrucción adicional y práctica estuvo en condiciones de ganarle a su propia creación. Sin embargo, ello no opaca el hecho de que hubo un momento en el que la máquina fue con mucho un vencedor consistente.

Ganó y aprendió a ganar; y el método de su aprendizaje no fue diferente en principio de el del ser humano que aprende a jugar damas.

Es verdad que la elección de estrategias de que dispone la máquina jugadora de damas es casi con certeza más limitada de la de que dispone el jugador humano de damas; pero también es cierto que la elección de estrategias de que efectivamente dispone el jugador humano de damas no es

ilimitada. Puede estar restringido para una elección más amplia sólo por las limitaciones de su inteligencia y su imaginación, pero éstas son limitaciones muy reales en verdad y de una especie no esencialmente diferente de las limitaciones de la máquina.

Así, la máquina jugadora de damas juega siempre una partida razonablemente buena, y con un pequeño estudio adicional del final de la partida y un poco más de habilidad en la ejecución del «coupe de grâce» podría empezar a aproximarse al nivel de maestro. Si no fuera por el hecho de que el interés en el campeonato de damas ha sido ya grandemente disminuido por el carácter convenido de antemano del juego humano normal, la máquina jugadora de damas ya podría haber destruido el interés en ellas como un juego. No es sorprendente que la gente esté empezando a preguntar si el ajedrez va por el mismo camino. Y cuando ocurrirá esa catástrofe.

Las máquinas jugadoras de ajedrez, o máquinas para jugar al menos una parte apreciable de una partida de ajedrez, ya existen, pero son comparativamente pobres. En el mejor caso no van más allá del nivel de una buena partida entre aficionados sin ninguna pretensión de maestría ajedrecística, y muy rara vez alcanzan ese nivel^[10]. Esto se debe sobre todo a la mucho mayor complejidad del ajedrez que de las damas, tanto en cuanto a piezas como a movimientos, y a la mayor discriminación entre las estrategias adecuadas para las diversas fases de la partida. El número relativamente pequeño de consideraciones que se precisa para mecanizar una partida de damas y el bajo grado necesario de discriminación entre sus diferentes etapas, son totalmente inadecuados para el ajedrez.

No obstante, encuentro que es opinión general, de aquellos de mis amigos que son jugadores de ajedrez razonablemente versados, que los días del ajedrez como una ocupación humana interesante están contados. Ellos esperan que dentro de 10 a 25 años las máquinas ajedrecistas podrán alcanzar la categoría de maestro, y en tal caso, si los métodos eficientes pero más o menos mecánicos de la escuela rusa han permitido al ajedrez sobrevivir hasta entonces, dejará de interesar a los jugadores humanos.

Sea esto como fuere habrá muchos otros juegos que continuarán ofreciendo un reto a la ingeniería de juegos. Dentro de ellos se encuentra el

Go, ese juego del Lejano Oriente para el que hay 7 o más diferentes niveles de maestría reconocida. Por otra parte, la guerra y los negocios son conflictos que semejan juegos, y como tales pueden formalizarse tanto como para constituir juegos con reglas definidas. En realidad no tengo razones para suponer que tales versiones formalizadas de ellos no estén siendo establecidas ya como modelos para determinar las políticas para presionar el Gran Botón e incendiar la tierra hasta arrasarla en busca de un orden de cosas nuevo y humanamente más fiable.

En general, una máquina jugadora de juegos puede ser usada para asegurar la operación automática de cualquier función si dicha operación está sujeta a un criterio objetivo de validez claramente definido. En damas y en ajedrez, esa valuación consiste en ganar la partida de acuerdo con las reglas aceptadas de juego permisible. Esas reglas, que son completamente diferentes de las máximas aceptadas de buen juego, son simples e inexorables. Ni siquiera un niño inteligente podría tener dudas acerca de ellas por más tiempo del que le toma leerlas mientras mira el tablero. Puede haber amplias dudas acerca de cómo ganar una partida pero ninguna acerca de si se ha perdido o ganado.

El principal criterio acerca de si una línea de esfuerzo humano puede ser incorporada en un juego es el de que haya un criterio objetivamente reconocible del mérito del desempeño de ese esfuerzo. De lo contrario, el juego asume la misma indefinición del juego de croquet de *Alicia en el País de las Maravillas*, donde las bolas eran erizos que continuamente se desenrollaban, los mazos eran flamencos, los arcos soldados de cartón que marchaban alrededor del campo, y el árbitro la reina de corazones que cambiaba las reglas a cada momento y enviaba a los jugadores al verdugo para ser decapitados. Bajo tales circunstancias, ganar no tiene sentido y no puede aprenderse una estrategia exitosa, dado que no hay criterio objetivo de triunfo.

No obstante, dado un criterio objetivo de éxito el juego del aprendizaje puede ser ciertamente jugado, y está más cercano a la manera como aprendemos a jugar juegos que la imagen de un juego dada en la teoría de Von Neumann. La técnica del juego del aprendizaje es incuestionablemente aplicable en muchos campos del esfuerzo humano que todavía no han sido

sometidos a ella. Sin embargo, como veremos después, la determinación de un «test» agudo de buen funcionamiento trae muchos problemas relativos a juegos de aprendizaje.

III

El aprendizaje al que hemos estado aludiendo hasta ahora es el aprendizaje del individuo, el cual ocurre dentro del lapso de su vida privada individual. Existe otro tipo de aprendizaje de igual importancia —el aprendizaje filogenético—, o aprendizaje en la historia de la especie. Éste es el tipo de aprendizaje para el cual Darwin, en su teoría de la selección natural, estableció un tipo de bases.

Las bases de la selección natural descansan en tres hechos. El primero de ellos es que existe un fenómeno tal como el de la herencia: que una planta o animal individual produce una descendencia de acuerdo con su propia imagen. El segundo es que estos descendientes no están completamente de acuerdo con su propia imagen, sino que pueden diferir de ella en formas también sujetas a la herencia. Éste es el hecho de la variación, y en modo alguno implica la muy dudosa herencia de características adquiridas. El tercer elemento de la evolución darwiniana es que la sobrecargada pauta de la variación espontánea es ajustada por la diferencia en la viabilidad de diferentes variaciones, la mayor parte de las cuales tienden a disminuir la probabilidad de la existencia continuada de la especie, aunque algunas de ellas, quizá muy pocas, tienden a incrementarla.

Las bases de la supervivencia racial y del cambio racial o —evolución, como la llamamos— pueden ser mucho más complicadas que eso, y probablemente lo son. Por ejemplo, un tipo muy importante de variación es la variación de un orden mayor: la variación de la variabilidad. De nuevo, el mecanismo de la herencia y la variación generalmente comprenden los procesos descritos funcionalmente por Mendel y estructuralmente por el fenómeno de la mitosis: los procesos de la duplicación de genes y su

separación, de su agregación en cromosomas, del encadenamiento, y los demás.

En todo caso, detrás de toda esta concatenación de procesos fantásticamente compleja se encuentra un hecho muy simple: que en presencia de un medio nutritivo adecuado de ácidos nucleicos y aminoácidos, una molécula de un gen, la cual, a su vez, está formada por una combinación muy específica de aminoácidos y ácidos nucleicos, puede inducir el medio para establecerse en otras moléculas, que son moléculas del mismo gen o bien de otros genes que difieren de él por variaciones relativamente pequeñas. De hecho se ha pensado que este proceso es estrictamente análogo a aquel conforme al cual una molécula de un virus, una especie de parásito molecular de un anfitrión, puede juntar otras piezas moleculares para sí mismo, a partir de los tejidos del anfitrión que opera como un medio nutriente. Este acto de multiplicación molecular, ya sea de gen o de virus, parece representar una etapa final del análisis del vasto y complicado proceso de la reproducción.

El hombre puede hacer hombres a su propia imagen. Esto parece ser el eco o el prototipo del acto de creación, por el cual se supone que Dios creó el hombre a Su imagen. ¿Puede ocurrir algo similar en el caso menos complicado (y acaso más comprensible) de los sistemas inertes que llamamos máquinas?

¿Qué es la imagen de una máquina? ¿Puede esta imagen, encarnada en una máquina, llevar a una máquina de una especie general, no sometida aún a una identidad específica particular, a reproducir la máquina original, ya sea absolutamente o conforme a cierto cambio que puede considerarse como una variación? ¿Puede la nueva y variada máquina misma actuar como un arquetipo, incluso como sus propias desviaciones de su propia pauta arquetípica?

El propósito de la presente sección es responder estas preguntas y responderlas con un «sí». El valor de lo que voy a decir aquí, o más bien de lo que he dicho en otras partes de una manera más técnica^[11] y de lo que vaya a esbozar aquí, es el de lo que los matemáticos llaman una prueba de existencia. Daré un método de acuerdo con el cual las máquinas pueden

reproducirse a si mismas. No diré que éste es el único método con el que puede darse la reproducción, porque no lo es; ni siquiera que es la forma en que ocurre la reproducción biológica, porque ciertamente tampoco lo es. Sin embargo, independientemente de lo diferentes que puedan ser la reproducción mecánica y la biológica, se trata de procesos paralelos, que llegan a resultados similares; y una descripción de uno de ellos puede muy bien producir sugerencias significativas para el estudio del otro^[12].

A fin de discutir con conocimiento de causa el problema de una máquina que construye otra a su propia imagen, debemos precisar más la noción de imagen. Al respecto, debemos tener presente que hay imágenes e imágenes. Pigmalión hizo la estatua de Galatea a la imagen de su ideal amado, pero después de que los dioses la trajeron a la vida, se volvió una imagen de su ideal amado en un sentido mucho más real. Ya no fue simplemente una imagen gráfica sino una imagen operativa.

Un torno de reproducción puede hacer una imagen de un modelo de una caja de fusil, que puede utilizarse para una caja de fusil, pero esto se debe simplemente a que la función que cumple una caja de fusil es muy simple.

Por otra parte, un circuito eléctrico puede cumplir una función relativamente compleja, y su imagen, reproducida por una prensa que utilice tintas metálicas, puede funcionar como el circuito que representa. Estos circuitos impresos se pusieron muy en boga en las técnicas de la ingeniería eléctrica moderna.

En consecuencia, además de imágenes gráficas, podemos tener imágenes operativas. Éstas imágenes operativas, que cumplen las funciones de su original, pueden o no tener un parecido gráfico con él. Lo tengan o no, pueden remplazar al original en su acción, y ésta es una semejanza mucho más profunda. Estudiaremos la posible reproducción de máquinas desde el punto de vista de la semejanza operativa.

Sin embargo ¿qué es una máquina? Desde un punto de vista, podemos considerar una máquina como un primer motor, como una fuente de energía.

En este libro no adoptaremos ese punto de vista. Para nosotros, una máquina es un dispositivo para convertir mensajes de entrada en mensajes de salida. Un mensaje, desde este punto de vista, es una secuencia de

cantidades que representan señales en el mensaje. Tales cantidades pueden ser corrientes o potenciales eléctricos, pero no se reducen a éstos, y en realidad pueden ser de naturaleza muy diferente, más aún, las señales componentes pueden distribuirse continua o discretamente en el tiempo.

Una máquina transforma cierto número de tales mensajes de entrada en cierto número de mensajes de salida y cada mensaje de salida depende en cualquier momento de los que hayan entrado hasta entonces. Como diría el ingeniero en su jerga, una máquina es un transductor de entrada múltiple y salida múltiple.

La mayor parte de los problemas que consideraremos aquí no son muy diferentes o mucho más diferentes que los que surgen en transductores de entrada simple y salida simple. Esto podría sugerir a los ingenieros que estamos tratando un problema que ya conocen muy bien: el problema clásico del circuito eléctrico y su impedancia o admitancia o su relación de voltaje.

Esto, sin embargo, no es exactamente así. Impedancia y admitancia y relación de voltaje son nociones que pueden usarse con alguna precisión sólo en el caso de circuitos lineales: esto es, de circuitos para los que la adición de entradas, como serie en el tiempo, corresponde a la adición de las salidas respectivas. Éste sería el caso de resistencias puras, capacitancias puras e inductancias puras, y de circuitos compuestos exclusivamente de estos elementos, conectados de acuerdo con las leyes de Kirchhoff. Para éstos, la entrada apropiada para probar el circuito es un potencial de entrada que oscila trigonométricamente y que puede variar en frecuencia y determinarse en fase y amplitud. La salida, entonces, será también una secuencia de oscilaciones de la misma frecuencia, y el circuito o transductor puede caracterizarse cabalmente al compararla con la entrada en amplitud y fase.

Si un circuito es no lineal, si, por ejemplo, contiene rectificadores o limitadores de voltaje u otros dispositivos semejantes, la entrada trigonométrica no será una entrada de prueba adecuada. En este caso, una entrada trigonométrica no producirá en general una salida trigonométrica más aún, estrictamente hablando, no hay circuitos lineales, sino sólo circuitos con una mayor o menor aproximación a la linealidad. La entrada

de prueba que seleccionamos para el análisis de circuitos no lineales —y que también puede utilizarse en circuitos lineales— es de naturaleza estadística. Teóricamente, a diferencia de la entrada trigonométrica que debe variarse en toda la gama de frecuencias, un conjunto estadístico único de entradas puede usarse para todos los transductores. Se conoce como el «efecto disparo». Los generadores del «efecto disparo» son aparatos bien definidos, que existen físicamente como instrumentos, y pueden solicitarse con base en los catálogos de varias empresas fabricantes de instrumentos eléctricos^[13].

La salida de un transductor excitado por un mensaje de entrada dado es un mensaje que depende al mismo tiempo del mensaje de entrada y del transductor mismo. Bajo las circunstancias más usuales, un transductor es un modo de transformar mensajes, y nuestra atención se dirige al mensaje de salida como una transformación del mensaje de entrada. Sin embargo, existen circunstancias, que surgen principalmente cuando el mensaje de entrada lleva el mínimo de información, en las que podemos concebir que la información del mensaje de salida se debe principalmente del transductor mismo. No es posible concebir mensaje de entrada alguno que contenga menos información que el flujo aleatorio de electrones que constituyen el «efecto disparo». En consecuencia, la salida de un transductor estimulado por un «efecto disparo» aleatorio puede concebirse como un mensaje que encarna la acción del transductor.

De hecho, ella encarna la acción del transductor para cualquier mensaje de entrada posible. Esto se debe al hecho de que en un tiempo finito, hay una probabilidad finita (aunque pequeña) de que el «efecto disparo» simule cualquier posible mensaje dentro de cualquier grado finito dado de precisión. En consecuencia, las estadísticas del mensaje que sale de un transductor dado, sometido a una entrada de «efecto disparo» estadístico estandarizada dada, constituyen una imagen operativa del transductor, y es perfectamente concebible que puedan usarse para reconstituir un transductor equivalente, en otra encarnación física. Es decir, si sabemos cómo responderá un transductor a una entrada de «efecto disparo», sabemos *ipso facto* cómo responderá a cualquier entrada.

El transductor —la máquina: como instrumento y como mensaje— sugiere entonces la especie de dualidad tan cara al físico, y ejemplificada por la dualidad entre onda y partícula. De nuevo, apunta a la alternancia biológica de generaciones que se expresa en «bon mot» —no recuerdo si de Bernard Shaw o de Samuel Butler— de que una gallina es simplemente el procedimiento que utiliza un huevo para hacer otro huevo. La lombriz del hígado de la oveja es simplemente otra fase de una especie de parásitos que infecta a ciertos caracoles de charca. Así la máquina puede generar el mensaje y el mensaje puede generar otra máquina.

Se trata de una idea con la que he jugado en el pasado —la de que es conceptualmente posible enviar a un ser humano a través de una línea telegráfica—. Permítaseme decir que las dificultades exceden con creces mi ingenio para superarlas, y que no me proponga agregar otro a los actuales apuros de los ferrocarriles convirtiendo a la American Telephone and Telegraph Company en un nuevo competidor. En el momento actual, y acaso durante la existencia toda de la raza humana, la idea es impracticable, pero no por eso es inconcebible.

Independientemente de las dificultades de llevar esta noción a la práctica en el caso del hombre, es un concepto íntegramente realizable en el caso de las máquinas de un grado menor de complejidad hechas por el hombre. Esto es precisamente lo que propongo como método según el cual los transductores no lineales pueden reproducirse a si mismos. Los mensajes en los que la función de un transductor dado puede englobarse, también englobarán todos aquellos englobamientos de un transductor con la misma imagen operativa. Entre éstos hay por lo menos un englobamiento con cierta clase especial de estructura mecánica, y es este englobamiento el que propongo reconstruir del mensaje que lleva la imagen operativa de la máquina.

Al describir el englobamiento, particular que escogería para el modelo operativo de la máquina por reproducir, también describo el carácter formal del modelo. Para que esta descripción sea algo más que una vaga fantasía, debe expresarse en términos matemáticos, y las matemáticas no son un lenguaje comprensible para el lector medio al que se destina este libro. Por tanto, debo olvidar la precisión en este caso. Ya he expresado estas ideas en

lenguaje matemático^[14], por lo que ya he cumplido mi deber con el especialista. Si dejara así las cosas, habría hecho mucho menos que cumplir mi deber con el lector para cuyos ojos se destina este libro. Parecería que he afirmado sólo algunas reivindicaciones posiblemente vacías. Por otra parte, una presentación completa de mis ideas aquí sería enteramente fútil. En consecuencia, me reduciré en este libro a hacer una paráfrasis tan buena como pueda de las matemáticas que constituyen el verdadero meollo del asunto.

Aun así, temo que las siguientes páginas constituirán un camino escabroso. Para aquellos que quieren evitar a cualquier costo ir por caminos escabrosos, debo advertirles que omitan esta parte del texto. La estoy escribiendo sólo para aquéllos cuya curiosidad es suficientemente intensa como para inducirlos a leer a pesar de tales advertencias.

IV

Lector, ha recibido ya la advertencia reglamentaria, y cualquier cosa que diga en contra del siguiente texto podrá utilizarse contra usted. Es posible multiplicar una máquina, digamos, un transductor lineal, por una constante y sumar dos máquinas. Recuérdesse que asumimos que la salida de una máquina fuese un potencial eléctrico, el cual podemos suponer que se lea en un circuito abierto, si aprovechamos los dispositivos modernos que se conocen como seguidores de cátodo. Con el uso de potenciómetros y/o transformadores, podemos multiplicar la salida de un transductor por cualquier constante, positiva o negativa: Si tenemos dos o más transductores separados, podemos sumar sus potenciales de salida con la misma entrada arreglándolos en serie, y entonces obtenemos un dispositivo compuesto, con una salida que es cualquier suma de las salidas de sus partes componentes, cada una de las cuales tendría un coeficiente positivo o negativo apropiado.

En consecuencia, podemos introducir en el análisis y síntesis de máquinas las nociones familiares de desarrollos polinómicos y series. Éstas nociones resultan familiares en el caso de los desarrollos trigonométricos y las series de Fourier. A fin de dar una forma estándar para la realización, y, consecuentemente, para la duplicación de una imagen operativa, aún falta dar un repertorio apropiado de transductores capaces de formar tales series. Se sabe que existe un repertorio estándar de máquinas elementales tal que puede representar aproximadamente a todas las máquinas existentes con cierto grado de precisión, en un sentido apropiado. Describir esto en forma matemática es una labor de cierto grado de complejidad; mas para beneficio del matemático extraviado que acaso lea con cuidado estas páginas, debo decir que para cualquier mensaje de entrada estos dispositivos arrojan

productos de los polinomios de Hermite en los coeficientes de Laguerre del pasado de la entrada. Esto es realmente tan específico y tan complicado como suena.

¿Dónde es posible obtener estos dispositivos? Temo que por ahora no sea posible obtenerlos como dispositivos ya fabricados en una tienda de materiales eléctricos; sin embargo, pueden construirse siguiendo especificaciones precisas. Los componentes de estos dispositivos son, en primer término, resistores, condensadores e inductores, componentes habituales de los aparatos lineales. Junto con ellos, a fin de obtener linealidad, necesitamos multiplicadores que tomen dos potenciales como entradas y arrojen un potencial, que sea producto de los dos.

Tales dispositivos están a la venta en el mercado, y si son ligeramente más caros de lo que quisiéramos en vista del número que necesitamos, el desarrollo de la invención quizá pueda hacer bajar el precio; y sobre todo, el gasto no es una consideración del mismo orden que la posibilidad. Un dispositivo de esta especie en extremo interesante, que trabaja sobre principios de cristales piezoeléctricos, fue hecho en el laboratorio del profesor Dennis Gabor^[15], del Imperial College of science and Technology. Lo usó para un dispositivo que es en muchos sentidos distinto del que he indicado, pero que se usa también para el análisis y síntesis de máquinas arbitrarias.

Volviendo a los dispositivos particulares que he mencionado, tienen tres propiedades que los hacen adecuados para el análisis y la síntesis de la máquina en general. Para comenzar, son un conjunto cerrado de máquinas.

Es decir, combinándolas con coeficientes apropiados, podemos aproximarnos a cualquier máquina en cualquier caso. En consecuencia, pueden ser tan proporcionadas que sean normales, en el sentido de que para un impulso aleatorio cuya fuerza estadística sea la unidad, darán salidas cuya fuerza estadística será la unidad. Finalmente, son ortogonales.

Esto significa que si tomamos cualquiera de las dos, le damos la misma entrada de «efecto disparo» estandarizada, y multiplicamos sus salidas, el producto de estas salidas, promediado sobre las estadísticas del «efecto disparo» de todas las entradas, será igual a cero.

Al desarrollar una máquina en esta forma, el análisis es tan fácil como la síntesis.

Supongamos que tenemos una máquina en la forma de una «caja negra», esto es, una máquina que realiza una operación definida y estable (que no cae en la oscilación espontánea), pero con una estructura interna inaccesible a nosotros, y que no conocemos. Tengamos también una «caja blanca», o una máquina de estructura conocida, que representa uno de los términos en el desarrollo de la «caja negra». Si entonces las dos cajas tienen conectados sus terminales de entrada al mismo generador de «efecto disparo», y sus terminales de salida están conectados a un multiplicador que multiplica sus salidas, el producto de sus salidas, promediado sobre toda la distribución del «efecto disparo» de su entrada común constituirá los coeficientes de la caja blanca en el desarrollo de la caja negra como la suma de todas las cajas blancas con coeficientes apropiados. Obtener esto es aparentemente imposible, ya que parece que involucraría el estudio del sistema para toda la gama estadística de las entradas de «efecto disparo».

Sin embargo, existe un accidente importante que nos permite evadir esta dificultad. Hay un teorema en física matemática que nos permite en ciertos casos remplazar promedios sobre distribuciones con promedios de tiempo, no en cualquier caso específico, sino en un conjunto de casos con probabilidad 1. En el caso particular del «efecto disparo», se puede probar rigurosamente que las condiciones para la validez de este teorema se cumplen. En consecuencia, podemos reemplazar el promedio sobre la totalidad del conjunto de los «efectos disparo» posibles, necesario para obtener el coeficiente de la caja blanca en el desarrollo de la caja negra, por un promedio en el tiempo, y obtendremos el coeficiente correcto con probabilidad 1. Esto, aunque no es teóricamente una certidumbre, en la práctica es equivalente a una certidumbre. Para ello, necesitamos ser capaces de tomar un promedio en el tiempo de un potencial.

Afortunadamente son bien conocidos y fáciles de obtener los aparatos para la obtención de tales promedios en el tiempo. Están formados solamente de resistores, capacitores y dispositivos para medir potenciales. Por tanto, nuestro tipo de sistema es igualmente útil para el análisis y la síntesis de máquinas. Si lo usamos para el análisis de máquinas y luego

usamos el mismo aparato para la síntesis de una máquina de acuerdo con este análisis, habremos reproducido la imagen operativa de la máquina.

A primera vista, esto parece incluir la intervención humana. Sin embargo, es fácil —mucho más fácil que el análisis y la síntesis mismos— conseguir que las lecturas del análisis no aparezcan como medidas en una escala sino como los ajustes de cierto número de potenciómetros. Por lo tanto, en la medida en que el número de términos disponible y la precisión de las técnicas de ingeniería lo permiten, habremos logrado que una caja negra desconocida, mediante su propia operación, transfiera su patrón de operación a una caja blanca compleja, capaz inicialmente de asumir cualquier patrón de acción. Esto es de hecho muy similar a lo que ocurre en el acto fundamental de la reproducción de la materia viva. Aquí, también, un sustrato capaz de asumir un gran número de formas, estructuras moleculares en este caso, es llevado a asumir una forma particular por la presencia de una estructura —una molécula— que ya posee esta forma. Cuando he presentado esta discusión de sistemas que se multiplican a sí mismos a filósofos y bioquímicos, he enfrentado la siguiente expresión:

¡Pero los dos procesos son completamente diferentes!

Cualquier analogía entre lo vivo y lo inerte debe ser puramente superficial. Desde luego, se conocen los detalles del proceso de multiplicación biológica, y nada tiene que ver con el proceso que usted menciona para la multiplicación de máquinas. Por una parte, las máquinas están hechas de acero y cobre, cuya más fina estructura química nada tiene que ver con sus funciones como partes de una máquina. La materia viva, sin embargo, está viva hasta en sus partes más finas, que la caracterizan como la misma especie de materia —las moléculas—. Por tanto, también, la multiplicación de la materia viva ocurre por un proceso de modelo arquetípico bien descrito, en el cual los ácidos nucleicos determinan la colocación de la cadena de aminoácidos, y esta cadena es doble y consiste en un par de espirales complementarias. Cuando éstas se separan, cada cual atrae hacia

sí los residuos moleculares necesarios para reconstituir la doble espiral de la cadena original.

Es claro que el proceso de reproducción de la materia viva es distinto en sus detalles del proceso de reproducción de las máquinas que he esbozado. Como se indica en el trabajo de Gabor, que ya he mencionado, existen otras formas de hacer que una máquina se reproduzca a sí misma, y éstas, que son menos rígidas que las que he presentado, encierran probablemente una semejanza mayor con el fenómeno de la multiplicación en la vida.

Ciertamente, la materia viva tiene una estructura fina más adecuada a su función y multiplicación que la de las partes de una máquina no viva, aunque esto puede no ser también el caso para las máquinas más nuevas que operan con los principios de la física del estado sólido. Sin embargo, aún los sistemas vivos no lo son (con toda probabilidad) por debajo del nivel molecular. Además: con todas las diferencias entre los sistemas vivos y los mecánicos usuales, resulta presuntuoso negar que sistemas de una especie puedan arrojar cierta luz sobre los sistemas de otra.

Una situación en que este bien puede ser el caso es la de la mutua convertibilidad de la estructura espacial y funcional, por una parte, y de mensajes en el tiempo, por la otra. La descripción de la reproducción como basada en una «plantilla» evidentemente no es toda la historia. Debe haber alguna comunicación entre las moléculas de genes y los residuos que se pueden encontrar en el fluido nutriente, y esta comunicación debe tener alguna dinámica. Encaja perfectamente en el espíritu de la física moderna suponer que fenómenos de campo de una naturaleza radiactiva median la dinámica de tal comunicación. No estaría bien afirmar categóricamente que los procesos de reproducción en la máquina y en el ser vivo nada tienen en común.

Pronunciamentos de este tipo, a menudo parecen menos riesgosos a las mentes prudentes y conservadoras que afirmaciones temerarias de analogía. Sin embargo, si es peligroso afirmar que existe una analogía fundamentándonos en evidencias insuficientes, es igualmente peligroso rechazar una sin pruebas de su falta de congruencia. La honestidad intelectual no es equivalente a la negativa a asumir un riesgo intelectual, e

incluso la negativa a considerar que lo nuevo y emocionalmente perturbador carece de mérito ético particular. Porque la idea de que la supuesta creación del hombre y los animales por Dios, el engendramiento de los seres vivos de acuerdo con su clase, y la posible reproducción de máquinas, forman parte del mismo orden de fenómenos, es emocionalmente perturbadora, tal como las especulaciones de Darwin acerca de la evolución y el origen del hombre fueron perturbadoras. Si fue una ofensa contra nuestro propio orgullo el que se nos comparase con un simio, ahora ya nos hemos repuesto de ello; y es una ofensa aún mayor ser comparado con una máquina. A cada una de estas sugerencias, en sus respectivas épocas, se vincula una reprobación semejante a la que en épocas anteriores se vinculó al pecado de brujería.

Ya he mencionado la herencia de la máquina y la evolución natural de Darwin a través de la selección natural. En cuanto a la genética que hemos relacionado con la máquina como la base de una especie de evolución a través de la selección natural, debemos explicarla por variación y por la herencia de variaciones. Sin embargo, del tipo de genética de máquina que suponemos permite las dos. La variación ocurre en la imprecisión de la realización del proceso de copia que hemos discutido, mientras que la máquina copiada que se ejemplificó en nuestra caja blanca está ella misma disponible como arquetipo para posteriores copias.

Realmente, mientras que en el copiado original de una fase la copia se parece a su original en imagen operativa, pero no en apariencia, en la etapa siguiente de copiado se preserva la estructura espacial, y la réplica es una réplica también de ésta.

Queda claro que el proceso de copiado puede utilizar la primera copia como un nuevo original. O sea que se preservan las variaciones en la herencia, aunque estén sujetas a variación posterior.

V

He dicho que la reprobación vinculada en los tiempos antiguos al pecado de brujería se vincula actualmente en muchas mentes a las especulaciones de la cibernética moderna. Sin temor a equivocarme, si hace doscientos años un experto hubiera pretendido hacer máquinas que aprendieran a jugar juegos o que se reprodujeran a sí mismas, seguramente hubiera tenido que vestir el sambenito, el hábito que llevaban las víctimas de la Inquisición, y hubiera sido entregado al brazo Seglar^[16], con la orden de que no hubiera derramamiento de sangre; desde luego, eso sí, a menos que hubiera podido convencer a algún importante personaje de que podía transmutar los metales básicos en oro, como el rabino Lüw de Praga, que proclamaba que sus encantamientos inyectaban un soplo de vida al Golem de barro, y persuadió al emperador Rodolfo. Porque, aún ahora, si un inventor pudiese probar a una compañía de computadoras que su magia les sería útil, podría practicar sus hechizos desde ahora hasta el día del juicio final, sin el menor riesgo personal.

¿Qué es la brujería y por qué se la condena como un pecado? ¿Por qué causa tanta desaprobación esa estúpida mojiganga de la misa negra? La misa negra debe entenderse desde el punto de vista del creyente ortodoxo. Para los demás, es una ceremonia carente de significado aunque obscena. Quienes participan en ella están mucho más cerca de la ortodoxia de lo que pensamos la mayoría de nosotros. El elemento principal de la misa negra es el dogma cristiano normal de que el sacerdote realiza un milagro real, y que los elementos de la eucaristía se convierten en la verdadera sangre y cuerpo de cristo.

El cristianismo ortodoxo y el brujo están de acuerdo en que después de que se ha realizado el milagro de la consagración de la hostia, los divinos elementos son capaces de realizar otros milagros. Están de acuerdo, además, en que el milagro de transubstanciación puede ser realizado solamente por un sacerdote debidamente ordenado. Más aún, están de acuerdo en que tal sacerdote nunca perderá el poder de realizar el milagro, aunque si es secularizado lo realiza con el peligro cierto de condenación. Conforme a estos postulados, resulta completamente natural que algún alma, réproba pero ingeniosa, haya concebido la idea de ejercer su influencia sobre la hostia mágica y utilizar sus poderes para su ventaja personal. Es en esto, y no en impías orgías, en lo que consiste el pecado fundamental de la misa negra. La magia de la hostia es intrínsecamente buena: su desviación a otros fines que la mayor gloria de Dios es un pecado mortal.

Éste fue el pecado que la Biblia atribuyó a Simón Mago, por negociar con San Pablo por los poderes milagrosos de los cristianos^[17]. Puedo imaginarme perfectamente la confusa pesadumbre del pobre hombre cuando descubrió que estos poderes no estaban en venta, y que Pablo se negó a aceptar lo que era, en la mente de Simón, un trato honorable, aceptable y natural. Se trata de una actitud con la cual la mayor parte de nosotros se ha enfrentado cuando nos hemos negado a vender una invención en las condiciones realmente halagüeñas ofrecidas por algún moderno capitán de industria. Sea como fuese, la cristiandad ha considerado siempre la simonía como un pecado, es decir, la compra y la venta de los oficios de la iglesia y los poderes sobrenaturales que ellos implican. Es más, Dante la coloca entre los peores pecados, y confina al fondo del infierno a algunos de los más notorios practicantes de la simonía en sus tiempos. Sin embargo, la simonía fue un vicio habitual y dominante en el mundo altamente eclesiástico en que vivió Dante, y naturalmente se ha extinguido en el mundo actual, más racionalista y racional.

¡Se ha extinguido! Se ha extinguido. ¿Se ha extinguido? Quizá los poderes de la edad de la máquina no son verdaderamente sobrenaturales, pero al menos parecen estar por encima del curso ordinario de la naturaleza para el hombre de la calle. Quizá ya no consideramos que nuestro deber

consista en dedicar estos grandes poderes a la mayor gloria de Dios, pero aún nos parece impropio dedicarlos a propósitos vanos y egoístas. Hay un pecado, que consiste en el uso de la magia de la automatización moderna para aumentar las utilidades personales o para desatar los terrores apocalípticos de la guerra nuclear. Si este pecado tuviera que tener un nombre, dejemos que sea el de simonía o brujería.

Creamos o no en Dios y su mayor gloria, no todas las cosas nos resultan igualmente permitidas. Aunque Adolfo Hitler pensara de otro modo, no hemos llegado aún al pináculo de la indiferencia moral sublime que nos coloque más allá del bien y del mal. Y precisamente mientras retengamos una huella de discriminación ética, el uso de grandes poderes para propósitos bajos constituirá un equivalente moral total de la brujería y la simonía.

Mientras sea posible hacer un autómatas, sea de metal o meramente en principio, el estudio de su construcción y su teoría es una fase legítima de la curiosidad humana, y la inteligencia humana se estulticia cuando el hombre establece límites fijos a su curiosidad. Sin embargo, hay aspectos de las razones de la automatización que van más allá de una curiosidad legítima y son pecaminosos en sí mismos. Pueden ejemplificarse en el tipo particular de ingeniero y administrador de ingeniería que designaremos con el nombre de adorador de artificios.

Estoy completamente familiarizado con los adoradores de artificios en mi propio mundo, con sus lemas de libre empresa y de economía motivada por el lucro. Pueden existir y existen en ese mundo de detrás del espejo en el que los lemas son la dictadura del proletariado, marxismo y comunismo. El poder y la búsqueda del poder desgraciadamente son realidades que pueden tomar muchas apariencias. Entre los devotos sacerdotes del poder, hay muchos que ven con impaciencia las limitaciones de la humanidad, y en particular la limitación que consiste en que el hombre no es predecible ni confiable. Es posible conocer mentes dominantes de este tipo por los subordinados que escogen. Son mansos, autodisminuidos e íntegramente a su disposición; y por ello son generalmente ineficientes cuando dejan de ser miembros a la disposición de su cerebro. Pueden ser muy industriosos pero

tienen poca iniciativa independiente —los eunucos del harén de ideas al que se desposa su sultán—.

Además del motivo de admiración que el adorador de artificios encuentra en el hecho de que las máquinas no tengan las limitaciones humanas en cuanto a velocidad y precisión, hay un motivo que es más difícil de establecer en cualquier caso concreto, pero que, no obstante, debe desempeñar un papel muy importante. Es el deseo de evitar la responsabilidad personal de una decisión peligrosa o desastrosa, colocando la responsabilidad en otra parte: en el azar, en los superiores humanos cuyas políticas no es posible desafiar o en un dispositivo mecánico que no es posible entender completamente pero cuya objetividad se da por supuesta. Por esto los náufragos echan suertes para determinar a cuál de ellos se comerán primero. A esto confió el difunto Eichmann su hábil defensa. Es esto lo que lleva a que haya algunos cartuchos vacíos entre los cartuchos con bala que se proporcionan a un pelotón de fusilamiento. Ésta será sin duda alguna la forma en que el oficial que apriete el botón en la próxima (y última) guerra atómica, independientemente del bando que represente, podrá salvar su conciencia. Y es un viejo truco en la magia —rico, sin embargo, en consecuencias trágicas— sacrificar por un voto la primera criatura viviente que uno vea al regresar sano y salvo de una empresa peligrosa.

Cuando tal jefe se da cuenta de que algunas de las funciones supuestamente humanas de sus esclavos pueden transferirse a las máquinas, se siente complacido. Al fin ha encontrado un nuevo subordinado —eficiente, servicial, confiable en su acción, nunca respondón, diligente, y que nunca exige un solo pensamiento de consideración personal—.

Tales subordinados se consideran en la obra de Karel Capek: R. U. R. El esclavo de la lámpara no plantea reivindicaciones. No pide un día libre por semana o un aparato de televisión en el cuarto de los sirvientes. De hecho, no pide cuarto de sirvientes en lo absoluto, sino que aparece de la nada cuando se frota la lámpara. Si tus propósitos te comprometen en daros a la vela muy ceñidamente a un viento moral, vuestro esclavo nunca os hará recriminaciones, ni siquiera con una ojeada inquisitoria. Ahora eres libre de someterte a tu suerte, dondequiera que el destino te lleve. Este tipo de

mente es la mente del brujo en el sentido cabal del término. No sólo las doctrinas de la Iglesia previenen contra esta especie de brujo, sino también el sentido común de la humanidad, acumulado en leyendas, en mitos, y en los escritos del hombre de letras consciente. Todos ellos insisten en que la brujería no solamente es un pecado que lleva al infierno, sino que es un peligro personal en esta vida. Es una espada de doble filo, y tarde o temprano te cortará.

El cuento de «El pescador y el genio», de Las mil noches y una noche^[18] es muy pertinente. Un pescador, que echaba sus redes en la costa de Palestina, pesca una jarra de barro sellada con el sello de Salomón. Rompe el sello, y de la jarra brota humo que toma la figura de un enorme Genio. El ser le dice que es uno de esos seres rebeldes aprisionados por el gran rey Salomón; que inicialmente se había propuesto premiar a cualquiera que lo liberase con poder y riquezas; pero que en el curso del tiempo llegó a la decisión de matar al primer mortal que encontrase, y por encima de todos al hombre que le diera la libertad.

Afortunadamente para él, parece ser que el pescador era un hombre ingenioso, con una rica veta de zalamería. Jugó con la vanidad del Genio y lo persuadió de mostrarle cómo un ser tan grande podía haber sido confinado a semejante jarrita, haciéndolo entrar de nuevo en la jarra. Cerró el sello de nuevo, echó la jarra al mar, se felicitó de su angosto escape y vivió feliz desde entonces.

En otros cuentos, el protagonista no tiene un encuentro tan accidental con la magia e incluso llega todavía más cerca del borde de la catástrofe o provoca la ruina total. En el poema de Goethe, El aprendiz de brujo^[19], el factótum joven que limpia la vestimenta mágica del maestro, barre sus pisos y acarrea su agua, es dejado solo por el brujo, con la encomienda de llenar sus baldes de agua. El sirviente, teniendo una porción completa de esa pereza que es la verdadera madre de la invención —la que llevó al muchacho que cuidaba la máquina de Newcomen a asegurar a la cruceta la cuerda de la válvula que él tenía que tirar, y eso llevó a la idea del mecanismo de la válvula automática^[20]— recordó algunos fragmentos de un encantamiento que había escuchado de su maestro y puso a la escoba a

trabajar trayendo agua. La escoba llevó a cabo esta tarea con prontitud y eficiencia. Cuando el agua comenzó a rebasar el borde de la cubeta, el muchacho se dio cuenta de que no recordaba el encantamiento que el mago había usado para detener la escoba. El muchacho estaba en peligro de ahogarse cuando el mago regresó, dijo las palabras de poder y dio al aprendiz un edificante regaño.

Incluso aquí, la catástrofe final es conjurada a través de un «deus ex machina». W. W. Jacobs, un escritor inglés de principios de este siglo, ha llevado el principio a su más pura conclusión lógica en un cuento llamado «The Monkey's Paw»^[21] que es uno de los clásicos de la literatura de horror. En ese cuento, una familia trabajadora inglesa está sentada para cenar en su cocina. El hijo sale a trabajar a una fábrica, y los viejos padres escuchan los relatos de su invitado, un sargento primero de regreso del servicio en el ejército indio. Éste les habla de la magia hindú y les muestra una pata de mono disecada, la que, les dice, es un talismán que ha sido dotado por un santón hindú de la virtud de conceder tres deseos a cada uno de tres poseedores sucesivos. Esto, decía, era para probar la insensatez de desafiar al destino.

Él dijo que no sabía cuáles habían sido los dos primeros deseos del primer poseedor pero que el último había sido morir. Él mismo era el segundo poseedor, pero sus experiencias eran demasiado terribles para relatarse.

Estando a punto de arrojar la pata a las brasas de carbón, su anfitrión la recupera, y a despecho de todo lo que el sargento primero pudiera hacer, desea 200 libras esterlinas.

Inmediatamente después se oye un toque en la puerta. Se encuentra allí un caballero muy solemne de la compañía que ha empleado a su hijo. Tan amablemente como puede, da la noticia de que su hijo ha sido muerto en la fábrica en un accidente. Sin reconocer responsabilidad alguna en el asunto, la compañía ofrece sus condolencias y 200 libras esterlinas como indemnización.

Los padres están aturdidos, y a sugerencia de la madre, desean que su hijo les sea devuelto. Para entonces el exterior está oscuro, una noche

oscura y borrascosa. Nuevamente se escucha un toque en la puerta. De alguna manera los padres saben que es su hijo, pero no en su forma corpórea. La historia termina con el tercer deseo, de que el fantasma se marche.

El tema de todos estos cuentos es el peligro de la magia. Esto parece descansar en el hecho de que la operación mágica es de una singular interpretación literal, y que si le concede cualquier cosa, le concede lo que solicite, no lo que debiera haber solicitado o lo que intentó solicitar. Si pide 200 libras esterlinas, y no expresa la condición de que no las desea al costo de la vida de su hijo, obtendrá 200 libras esterlinas, ya sea que su hijo viva o muera.

Puede esperarse que, similarmente, la magia de la automatización, y en particular la magia de una automatización en la que los dispositivos aprenden, sea de interpretación literal. Si usted está jugando un juego de acuerdo con ciertas reglas y dispone a la máquina jugadora para jugar hacia la victoria, si consigue usted algo sería la victoria, y la máquina no prestaría la más mínima atención a cualquier consideración aparte de la victoria, de acuerdo con las reglas. Si está usted jugando un juego bélico con una cierta interpretación convencional de la victoria, la meta podría ser la victoria a cualquier costo, incluso el de la exterminación de su propio bando, a menos que esta condición de supervivencia esté explícitamente contenida en la definición de victoria de acuerdo con la cual usted programe la máquina.

Esto es más que una paradoja verbal puramente inocente. Ciertamente nada conozco que contradiga el supuesto de que Rusia y los Estados Unidos, cada uno o ambos, están jugando con la idea de usar máquinas, máquinas que aprenden, además, para determinar el momento de apretar el botón de la bomba atómica que es la última ratio de este actual mundo nuestro. Durante muchos años todos los ejércitos han jugado juegos bélicos, y esos juegos han estado siempre a la zaga de los tiempos. Se ha dicho que en cada guerra, los buenos generales pelean la última guerra, los malos la penúltima. O sea que las reglas del juego de la guerra nunca se ponen al día con los hechos de la realidad.

Esto ha sido siempre cierto, aunque en periodos de muchas guerras, ha habido siempre un cuerpo de combatientes maduros que han experimentado la guerra bajo condiciones que no han variado muy rápidamente. Estos hombres experimentados son los únicos «expertos bélicos», en el verdadero sentido de la palabra. En el momento actual no hay expertos en guerra atómica: es decir, ningún hombre que tenga experiencia alguna de un conflicto en el que ambas partes hayan tenido armas atómicas a su disposición y las hayan usado. La destrucción de nuestras ciudades en una guerra atómica, la desmoralización de nuestro pueblo, el hambre y la enfermedad, y la destrucción concomitante (la que muy bien podría ser mucho más grande que el número de muertes de la explosión y la lluvia radiactiva inmediata) son conocidas sólo por conjetura.

Aquí, aquellos que conjeturan el mínimo monto de daños secundarios y la mayor posibilidad de supervivencia de las naciones bajo el nuevo tipo de catástrofe, pueden, y lo hacen, reclamar para sí la orgullosa vestimenta de patriotismo. Si la guerra es completamente autodestructiva, si una operación militar ha perdido todo sentido posible, entonces el ejército y la marina han perdido una buena parte de su propósito, y los pobres generales y almirantes fieles podrían ser despedidos del trabajo.

Las fábricas de misiles no contarían más con el mercado ideal, en el que todos los bienes pueden usarse sólo una vez y no permanecen para competir con otros bienes aún por fabricarse. El clero estaría embaucado por el entusiasmo y regocijo que acompañan a una cruzada. En síntesis, cuando hay un juego bélico para programar tal campaña, habrá muchos que olviden sus consecuencias, solicitando las 200 libras esterlinas y olvidando mencionar que el hijo debe sobrevivir.

Aun cuando siempre es posible solicitar algo distinto de lo que realmente deseamos, esa posibilidad es más seria cuando el proceso por el que vamos a obtener nuestro deseo es indirecto, y no queda claro el grado en que lo hemos obtenido hasta el final mismo. Usualmente comprendemos nuestros deseos, en la medida en que de hecho se realizan, por un proceso de retroalimentación, en el que comparamos el grado de consecución de metas intermedias con nuestra previsión de ellas. En este proceso, la retroalimentación pasa a través nuestro, y podemos dar marcha atrás antes

de que sea demasiado tarde. Si la retroalimentación introducida dentro de una máquina es tal que no puede haber inspección hasta que la meta final es alcanzada, las posibilidades de una catástrofe son mucho mayores.

Odiaría pasear en la primera prueba de un automóvil regulado por dispositivos retroalimentadores fotoeléctricos, a menos que en alguna parte hubiese un manubrio por el cual yo pudiera tomar el control si me encontrase dirigiéndome a chocar contra un árbol.

La gente amante de los artilugios, con frecuencia tiene la ilusión de que, un mundo altamente automatizado haría menos exigencias a la inventiva humana que las que hace el actual y nos sustituiría en el pensamiento difícil, tal como un esclavo romano que también fuera filósofo griego podría haberlo hecho para su amo. Esto es palpablemente falso. Un mecanismo buscador de metas no necesariamente perseguiría nuestras metas a menos que lo diseñásemos para ese propósito, y en ese diseño deberemos prever todas las etapas del proceso para el que está diseñado, en lugar de ejercer una previsión tentativa que sube hasta cierto punto, y pueda ser continuada desde ese punto a medida que surjan nuevas dificultades. Las sanciones por errores de previsión, si bien ahora son grandes, se incrementarán enormemente en la medida que la automatización llegue a usarse plenamente.

En la actualidad hay una fuerte preferencia por la idea de eludir algunos de los peligros, y en particular los peligros concomitantes a la guerra atómica, mediante los tan mencionados dispositivos «tolerante a fallas^[22]». La noción que se encuentra detrás de esto es que incluso si un dispositivo no opera adecuadamente, es posible conducir su modo de falla de manera inofensiva. Por ejemplo, si una bomba de agua va a averiarse, con frecuencia es mucho mejor que lo haga vaciándose a sí misma del agua que explotando por la presión. Cuando estamos enfrentando un peligro conocido particular, la técnica de tolerancia a fallas es legítima y útil. Sin embargo, es de escaso valor contra un peligro cuya naturaleza no ha sido todavía reconocida. Si, por ejemplo, el peligro es uno remoto pero fatal para la especie humana, incluyendo la exterminación, solamente un estudio muy cuidadoso de la sociedad podría mostrarlo como un peligro hasta que ya estuviese sobre nosotros. Contingencias peligrosas de esta especie no se

anuncian. Así, aunque la técnica de tolerancia a fallas pueda ser necesaria para evitar una catástrofe humana, enfáticamente no puede ser considerada como una precaución suficiente.

A medida que la técnica de ingeniería se vuelve más y más capaz de alcanzar propósitos humanos, debe volverse más y más habituada a la formulación de propósitos humanos. En el pasado, una apreciación parcial o inadecuada de los propósitos humanos ha sido relativamente inocua, solamente porque ha estado acompañada por limitaciones técnicas que nos dificultaron ejecutar operaciones que incluyesen una cuidadosa evaluación de propósitos humanos. Ésta es sólo una de las muchas áreas en las que la impotencia humana nos ha protegido hasta ahora del impacto destructivo total de la insensatez humana.

En otras palabras, aunque en el pasado la humanidad ha enfrentado muchos peligros, éstos han sido mucho más fáciles de manejar porque en muchos casos el peligro presentaba sólo uno de sus aspectos. En una época en la que la gran amenaza es el hambre, se obtiene seguridad mediante la producción de alimentos en aumento, y no hay mucho peligro en ella. Con una mayor tasa de mortalidad (y sobre todo una alta tasa de mortalidad infantil) y una medicina de muy poca efectividad, la vida humana individual era del máximo valor, y resultaba apropiado que se nos ordenara ser fértiles y multiplicarnos. La presión de la amenaza del hambre fue como la presión de la gravedad, para la que nuestros músculos, huesos y tendones están siempre afinados.

El cambio en las tensiones de la vida moderna, cuyos resultados provienen tanto del surgimiento de nuevas presiones como de la desaparición de viejas, es bastante análogo a los nuevos problemas de la navegación espacial. En la ingravidez que se nos impone en un vehículo espacial, ya no existe esa fuerza constante unidireccional, en la que tanto confiamos en nuestra vida diaria. En tal nave espacial, el viajero debe contar con agarraderas a las cuales asirse, frascos exprimibles para su comida y bebida, varias ayudas direccionales por las que pueda determinar su posición, e incluso así, aunque ahora parezca que su fisiología no será seriamente afectada, difícilmente podrá estar tan cómodo como quisiera. La gravedad es nuestra amiga al menos tanto como nuestra enemiga.

De la misma manera, en ausencia de hambre, la sobreproducción de alimentos, la falta de propósitos y una actitud de derroche y despilfarro se convierten en problemas serios. Una medicina mejorada es un factor que contribuye a la sobrepoblación, que es, con mucho, el peligro más serio al que se enfrenta la humanidad actualmente. Las viejas máximas en las que tanto ha confiado la humanidad —tales como la de que una moneda ahorrada es una moneda ganada— ya no podrán ser consideradas como incuestionablemente válidas.

Fui a cenar con un grupo de médicos —estaban hablando libremente entre ellos, con la suficiente confianza en sí mismos para no temer decir cosas no convencionales— cuando comenzaron a discutir la posibilidad de un ataque radical a ese mal degenerativo conocido como vejez. No lo consideraron como algo más allá de toda posibilidad de tratamiento médico, sino que más bien miraron hacia el día ¿quizá no muy lejano en el futuro?, en el que el instante de muerte inevitable pueda retrasarse quizá hacia el futuro indefinido, y la muerte sea accidental, como parece serlo en las secuoyas gigantes y en algunos peces.

No estoy afirmando que estuvieren acertados en esta conjetura (y estoy bien seguro de que ellos no pretendían que fuese más que una conjetura) pero la importancia de los nombres que la apoyan —estaba presente un Premio Nobel— es demasiado grande para permitirme rechazar tal sugerencia de antemano. Esa sugerencia, que en principio puede parecer reconfortante, es en realidad muy aterradora, y sobre todo para los médicos.

Puesto que, si hay algo claro, es que la humanidad como tal no podría sobrevivir por mucho tiempo a la prolongación indefinida de todas las vidas que entran a existir. No sólo ocurriría que la parte de la humanidad que no es autosuficiente sobrepasaría a aquella de la que depende la continuación de su existencia, sino que tendríamos tal deuda perpetua con los hombres del pasado que estaríamos totalmente desprevenidos para enfrentarnos a los nuevos problemas del futuro.

Es inconcebible que todas las vidas deban prolongarse de manera indiscriminada. Si, no obstante, existe la posibilidad de prolongación indefinida, la terminación de una vida e incluso el rechazo o la desatención

a prolongarla entraña una decisión moral de los médicos. ¿Qué ocurrirá entonces con el tradicional prestigio de la profesión médica como sacerdotes de la batalla contra la muerte y ministros de la misericordia? Admito que incluso actualmente hay casos en que los médicos acotan esta misión suya y deciden no prolongar una vida inútil y miserable. Rehusarán a menudo ligar el cordón umbilical de un monstruo; o cuando un viejo que sufre de un cáncer incurable cae víctima de esa «vieja amiga del hombre», la neumonía hipostática, le harán la muerte más fácil antes que exigirle el último grado de sufrimiento al que una supervivencia le condenaría, más a menudo esto se lleva a cabo silenciosa y decentemente, y sólo cuando algún idiota desenfrenado divulga el secreto, las cortes y los periódicos se llenan de plática sobre la «eutanasia».

Pero ¿qué pasaría si tales decisiones, en lugar de ser raras y soterradas, tuvieran que tomarse no en unos cuantos casos especiales, sino en casi cualquier muerte? ¿Qué tal si cada paciente llega a ver a cada médico no sólo como su salvador, sino como su verdugo final? ¿Podría el médico Sobrevivir a ese poder del bien y el mal que se le confiaría? ¿Podría la propia humanidad sobrevivir a este nuevo orden de cosas?

Es relativamente fácil alentar el bien y combatir al mal cuando el mal y el bien están dispuestos uno contra otro en dos filas definidas y cuando los que están del otro lado son nuestros enemigos incuestionables, y los que están del nuestro aliados confiables. ¿Qué tal, en cambio, si tuviéramos que preguntamos, cada vez en cada situación, dónde está el amigo y dónde el enemigo? ¿Qué ocurrirá, además, cuando hubiéramos dejado la decisión en las manos de una magia inexorable o una máquina inexorable, a la cual debiéramos plantear de antemano las preguntas correctas, sin tener una comprensión cabal de las operaciones del proceso mediante el cual serán respondidas? ¿Podemos entonces confiar en la acción de la pata de mono a la que hemos solicitado que nos conceda 200 libras esterlinas?

No. El futuro ofrece pocas esperanzas a quienes aguardan que nuestros nuevos esclavos mecánicos nos ofrezcan un mundo en el que podamos vivir sin pensar. Pueden ayudarnos, pero a costa de plantear reivindicaciones supremas a nuestra honestidad y a nuestra inteligencia. El mundo del futuro será una lucha todavía más intensa contra las limitaciones de nuestra

inteligencia, y no una cómoda hamaca en la que podamos echarnos para ser agasajados por nuestros esclavos robot.

VI

Entonces uno de los grandes problemas que deberemos enfrentar en el futuro es el de la relación entre el hombre y la máquina, de las funciones que deben ser propiamente asignadas a esos dos agentes. En apariencia la máquina tiene ciertas ventajas evidentes. Es más rápida en su acción y más uniforme, o al menos puede ser hecha con esas propiedades si está bien diseñada. Una computadora digital puede efectuar en un día un volumen de trabajo que podría absorber la totalidad de los esfuerzos de un equipo de calculistas durante un año, y podría efectuarlo con un mínimo de imperfecciones y metidas de pata.

Por otro lado, el ser humano tiene ciertas ventajas nada despreciables. Aparte del hecho que cualquier hombre sensible puede considerar los propósitos del hombre como primordiales en las relaciones entre el hombre y la máquina, la máquina es mucho menos compleja que el hombre y tiene un alcance mucho menor en la variedad de sus acciones. Si consideramos la neurona de la materia gris del cerebro como del orden $1/1\,000\,000$ de milímetro cúbico, y al más pequeño transistor obtenible actualmente del orden del milímetro cúbico^[23], no habríamos juzgado la situación como demasiado desfavorable desde el punto de vista de la ventaja de la neurona en términos de menor masa. Si se considera a la materia blanca del cerebro como equivalente al alambrado de un circuito de computadora, y si tomamos cada neurona como el equivalente funcional de un transistor, la computadora equivalente a un cerebro ocuparía una esfera del orden de 9 metros de diámetro. Realmente, sería imposible construir una computadora que en algo se pareciera a la relativamente compacta textura del cerebro, y cualquier computadora con poderes comparables a los del cerebro podría

ocupar un edificio de oficinas de apreciable tamaño, si no es que un rascacielos. Es difícil creer que, en comparación con las computadoras existentes, el cerebro no tenga ciertas ventajas concomitantes a su enorme dimensión operativa, que es incomparablemente más grande de lo que podríamos esperar dada su dimensión física.

La principal entre esas ventajas parecería ser la habilidad del cerebro para manejar ideas vagas, todavía imperfectamente definidas. Al manejarlas, las computadoras mecánicas, o al menos las que existen en la actualidad, son virtualmente incapaces de programarse a sí mismas. Pero en poemas, en novelas y pinturas, el cerebro parece encontrarse a sí mismo capaz de trabajar muy bien con elementos que cualquier computadora rechazaría por indefinidos.

Dejemos al hombre las cosas que son del hombre y a las computadoras las cosas que son de ellas. Ésta podría parecer la política inteligente a adoptar cuando empleamos juntos hombres y computadoras en empresas comunes. Es una política tan apartada de la del adorador de artefactos como de la del hombre que ve solamente blasfemia y degradación del hombre en el uso de cualesquiera ayudantes mecánicos para pensar. Lo que ahora necesitamos es un estudio independiente de sistemas que comprendan elementos humanos y mecánicos. Dicho sistema no debería ser afectado por prejuicios promecánicos ni antimecánicos. Pienso que tal estudio ya se está desarrollando y que prometerá una mejor comprensión de la automatización.

Un campo en el que podemos usar, y usamos, tales sistemas mixtos es el del diseño de prótesis, de dispositivos que reemplazan miembros u órganos sensibles dañados. Una pierna de madera es un sustituto mecánico de una pierna de carne y hueso perdida, y un hombre con una pierna de madera representa un sistema compuesto tanto por partes mecánicas como humanas.

Quizá la clásica pata de palo simple no sea interesante, ya que sustituye al miembro perdido sólo en la forma más elemental, y una de madera con forma de pierna, tampoco es muy interesante. Sin embargo, hay un cierto trabajo con miembros artificiales que está haciendo en Rusia, en los Estados Unidos y en otras partes un grupo al que yo pertenezco. Este trabajo es

mucho más interesante en principio y en él realmente se hace uso de ideas cibernéticas.

Supongamos que un hombre ha perdido una mano hasta la muñeca. Ha perdido unos pocos músculos que sirven principalmente para desplegar los dedos y retraerlos juntos nuevamente, pero la mayor parte de los músculos que normalmente mueven la mano y los dedos están todavía intactos en el muñón del antebrazo. Cuando esos músculos están contraídos, no mueven la mano y los dedos pero sí producen ciertos efectos eléctricos conocidos como potenciales de acción. Éstos, pueden ser captados mediante electrodos apropiados, y pueden ser amplificados y combinados mediante circuitos transistorizados. Pueden adaptarse para que controlen los movimientos de una mano artificial mediante motores eléctricos, los que derivan su fuerza de baterías o acumuladores eléctricos apropiados, pero las señales que los controlan son enviadas a través de circuitos transistorizados. La parte nerviosa central del aparato de control está por lo general casi intacta y debe ser usada.

Tales manos artificiales han sido hechas ya en Rusia, e incluso han permitido a algunos amputados de mano regresar al trabajo efectivo. Este resultado se facilita por la circunstancia de que la misma señal nerviosa que era efectiva en producir una contracción muscular antes de la amputación puede continuar siendo efectiva en el control del motor que mueve la mano artificial. Por consiguiente, el aprendizaje del uso de esas manos se ha hecho mucho más fácil y más natural.

Sin embargo, como tal, una mano artificial no puede sentir, y la mano es tanto un órgano de tacto como de movimiento. Pero veamos ¿por qué una mano artificial no puede sentir? Es fácil poner manómetros dentro de los dedos artificiales que pueden comunicar impulsos eléctricos a un circuito apropiado. En esos términos, esto puede, en su punto terminal, activar dispositivos que actúen sobre la piel viva, o sea, la piel del muñón. Por ejemplo, esos dispositivos pueden ser vibradores. Con ello podemos producir una sensación sustitutiva de tacto, y podemos aprender a usarla para remplazar la sensación natural del tacto perdida. Además, hay aún elementos kinestésico-sensorios en los músculos mutilados, de los que puede sacarse buen provecho.

En consecuencia, hay una nueva ingeniería de prótesis posible, y ella conlleva el diseño de sistemas de naturaleza mixta, que comprendan tanto partes humanas como mecánicas. Sin embargo, esta clase de ingeniería no necesita limitarse al reemplazo de partes que hayamos perdido. Hay una prótesis de partes que no tenemos y nunca hemos tenido. El delfín se propulsa a sí mismo en el agua mediante sus aletas, y esquivo obstáculos escuchando los reflejos de los sonidos que el mismo emite. ¿Qué es el propulsor de un barco si no un par de aletas artificiales, o que es el aparato del sonar si no un aparato detector y emisor de sonido sustituto de aquel del delfín? Las alas y los motores de *jet* de un aeroplano rempazan las alas de un águila y el radar sus ojos, al tiempo que el sistema nervioso que los combina es remedado por un piloto automático y otros dispositivos de navegación similares.

Entonces, los sistemas humano-mecánicos tienen un gran campo práctico en el que pueden ser útiles, pero en ciertas situaciones son indispensables. Ya hemos visto que las máquinas discentes deben operar de acuerdo con ciertas normas de buen funcionamiento. En el caso de las máquinas jugadoras de juegos, en el que los movimientos permisibles son establecidos arbitrariamente de antemano, y el objetivo del juego es ganar con base en un conjunto de reglas permisibles de acuerdo con una convención estricta que determina el triunfo o la derrota, esta norma no crea problemas. Sin embargo, hay muchas actividades que desearíamos perfeccionar mediante procesos de aprendizaje en los cuales el éxito de la actividad debe ser juzgado por un criterio que incluye a los seres humanos, y en las cuales el problema de la reducción de dicho criterio a unas reglas formales está lejos de ser simple.

Un campo en el que hay una gran demanda por la automatización, y una gran demanda potencial por la automatización del aprendizaje, es el de la traducción automática. Ante el presente estado metaestable de tensión internacional, los Estados Unidos y Rusia están, cada uno por su parte, igual y opuestamente urgidos de descubrir lo que el otro está pensando y diciendo. Puesto que en ambos lados hay un número limitado de traductores humanos competentes, cada uno está explorando las posibilidades de la traducción mecánica. Esto se ha logrado hasta cierto punto, pero ni las

cualidades literarias ni la inteligibilidad de los resultados de esas traducciones han sido suficientes para provocar un gran entusiasmo en ambas partes. Ninguno de los dispositivos mecánicos de traducción ha probado ser digno de confianza cuando decisiones trascendentales depende de la precisión de la traducción.

Quizá la ruta más prometedora de la mecanización de la traducción sea mediante una máquina que aprenda. Para que una máquina de esa especie opere necesitamos tener un criterio firme de buena traducción. Esto supone una de dos cosas: ya sea un conjunto completo de reglas objetivamente aplicables que determinen cuando una traducción es buena, o alguna entidad capaz de aplicar un criterio de buen funcionamiento, independientemente de tales reglas.

El criterio normal de buena traducción es la inteligibilidad. Las personas que leen el idioma al que la traducción se hace deben recibir del texto la misma impresión obtenida del original por personas que entiendan el idioma del original. Si este criterio fuera difícil de aplicar, podríamos dar uno que es necesario si no suficiente. Supongamos que tenemos dos máquinas traductoras independientes, sean, una del inglés al danés y la otra del danés al inglés. Cuando un texto en inglés haya sido traducido al danés por la primera máquina, dejemos a la segunda traducirlo de nuevo al inglés. En tal caso la traducción final debe resultar reconociblemente equivalente al original para una persona familiarizada con el inglés.

Es concebible que un conjunto de reglas dadas para una traducción de esa especie deba ser tan definido que pueda confiarse a una máquina, y tan perfecto que sea suficiente para que una traducción realizada de acuerdo con esas reglas sea satisfactoria en términos del criterio que hemos dado. Yo no creo que la ciencia lingüística esté tan avanzada como para que sea viable un conjunto de reglas de esta especie ni que haya alguna esperanza de que vaya a ser tan avanzada en el futuro previsible. Limitada por este estado de cosas, una máquina traductora tendrá un riesgo de error. Si alguna consideración importante de acción o estrategia va a ser determinada mediante el uso de una máquina traductora, un pequeño error o incluso una pequeña posibilidad de error pueden tener consecuencias desproporcionadamente grandes y serias.

Me parece que la mejor esperanza respecto a una traducción mecánica razonablemente satisfactoria está en remplazar un mecanismo puro, al menos al principio, por un sistema mecánico humano, incluyendo como crítico a un traductor humano experto, que enseñe a la máquina mediante ejercicios, a la manera que un maestro de escuela instruye a sus alumnos. Quizá en una etapa posterior la memoria de la máquina haya absorbido suficiente instrucción humana como para prescindir de posterior participación humana, con excepción quizá de un curso de actualización ocasional. Por este camino la máquina podría desarrollar una madurez lingüística.

Tal esquema no le eliminaría a una oficina de traducción la necesidad de contar con un lingüista experto en cuya habilidad y juicio pudiera confiarse. Ello lo habilitaría, o al menos podría habilitarlo, para manejar un volumen considerablemente mayor de traducción de lo que podría lograr sin asistencia mecánica. Esto, en mi opinión, es lo mejor que podemos esperar de la traducción mecánica.

Hasta aquí hemos discutido la necesidad de un crítico sensible a los valores humanos, tal como, por ejemplo, en un sistema de traducción en el que todo, excepto el crítico, fuese mecánico. Sin embargo, si el elemento humano interviene como crítico, es muy razonable introducirlo también en otras etapas. En una máquina traductora no es en modo alguno esencial que el elemento mecánico de la máquina nos de una traducción completa única. Puede darnos un amplio número de traducciones alternativas de frases individuales que se ubiquen dentro de las reglas gramaticales y lexicográficas y dejen al crítico la alta responsabilidad de censurar y seleccionar de entre las traducciones mecánicas la que mejor se ajuste al sentido. No hay necesidad alguna de que el uso de la máquina en la traducción deje a ésta la formación de una traducción completamente acabada, incluso en el sentido de que la traducción se perfeccione después mediante la crítica a la totalidad. La crítica podría empezar desde una etapa más temprana.

Lo que he dicho acerca de las máquinas traductoras puede aplicarse con igual o mayor vigor a las máquinas que están diseñadas para realizar diagnósticos médicos. Tales máquinas están mucho más en boga en los

planes para la medicina del futuro. Podrían ayudar a seleccionar los elementos que el médico usaría en el diagnóstico, pero no hay necesidad alguna de que completasen el diagnóstico sin el médico. Tal política acabada y permanente, en una máquina médica, probablemente producirá tarde o temprano mucha mala salud y muertes.

Un problema relacionado que requiere la consideración conjunta de elementos mecánicos y humanos es el problema operativo de la invención, que ha sido discutido conmigo por el Dr. Gordon Raisbeck, de la Arthur D. Little, Inc. Operativamente, debemos considerar una invención no sólo en relación con lo que podamos inventar sino también con la manera como la invención puede ser usada y cómo será usada en un contexto humano. La segunda parte del problema es con frecuencia más difícil que la primera y tiene una metodología menos rigurosa. Nos enfrentamos entonces a un problema de desarrollo que es esencialmente un problema de aprendizaje, no sólo en el sistema mecánico, sino en el sistema mecánico conectado con la sociedad. Éste es un caso que definitivamente requiere una consideración del problema del mejor uso conjunto de la máquina y el hombre.

Un problema similar y muy apremiante es el del uso y desarrollo de dispositivos militares en asocio con la evolución de la táctica y la estrategia.

Aquí también, el problema operativo no puede ser separado del problema de automatización.

El problema de adaptar la máquina a las condiciones actuales mediante el uso apropiado de la inteligencia del traductor, del médico o del inventor, no es un problema que solamente deba enfrentarse ahora, sino que debe enfrentarse continuamente. El progreso de las artes y las ciencias significa que no podemos contentarnos con la sabiduría total de cualquier época concreta. Esto es quizá más claramente cierto en cuanto a los controles sociales y la organización de sistemas de aprendizaje en la política. En un periodo de relativa estabilidad, si no en la filosofía de la vida, entonces en las circunstancias reales que hemos producido a nuestro alrededor en el mundo, podemos ignorar con seguridad nuevos peligros, tales como los que han surgido en la presente generación en relación con la explosión demográfica, la bomba atómica, la presencia de una medicina ampliamente extendida y otros similares. No obstante, con el transcurso del tiempo

deberemos reconsiderar nuestra vieja optimización, y se necesitará una nueva y revisada para tomar en consideración esos fenómenos. La homeostasis, ya sea para el individuo o para la especie, es algo cuyas bases deberán reconsiderarse tarde o temprano. Esto significa, por ejemplo, como dije en un artículo para el Voprosy Filosofii de Moscú^[24], que aunque la ciencia es una importante contribución a la homeostasis de la comunidad, es una contribución cuyas bases deben ser revaluadas nuevamente más o menos cada generación. Permítaseme aquí destacar que las actuales homeostasis tanto oriental como occidental están realizándose con la intención de fijar de manera permanente los conceptos de un periodo que pasó hace mucho. Marx vivió en medio de la primera revolución industrial y estamos ahora muy dentro de la segunda. Adam Smith pertenece a una fase aún más temprana y obsoleta de la primera revolución industrial. La homeostasis permanente de la sociedad no puede hacerse bajo el supuesto rígido de una completa permanencia del marxismo ni puede hacerse bajo el supuesto similar concerniente a un concepto estandarizado de libre empresa o de afán de lucro. No es tanto la forma de la rigidez la que es particularmente fatal sino la rigidez en sí misma, cualquiera que sea su forma.

Me pareció importante decir algo en ese artículo que enfatizara la función homeostática de la ciencia y al mismo tiempo protestara contra la rigidez de las aplicaciones sociales de la ciencia, tanto en Rusia como en cualquier otra parte. Cuando mandé ese artículo a Voprosy Filosofii, preví que podía haber una fuerte reacción por mi actitud contra la rigidez; de hecho, mi artículo fue acompañado por otro considerablemente más largo que señalaba las deficiencias de mi posición desde un punto de vista estrictamente marxista. No dudo de que si mi documento original hubiese sido publicado primero por acá, hubiese recibido una similar y casi igual reacción desde el punto de vista de nuestros propios prejuicios, los que —si bien no tan rígida y formalmente expresados— son también muy fuertes. La tesis que deseo mantener no es pro ni anticomunista sino antirigidez. Por consiguiente, expreso aquí mis ideas en una forma que no está muy estrechamente conectada con una evaluación de la diferencia entre los peligros subyacentes en esas rigideces paralelas pero opuestas. La moraleja

que deseo recalcar es que las dificultades para establecer una regulación realmente homeostática de la sociedad no van a ser superadas mediante el reemplazo de un patrón establecido, no sujeto a una continua reconsideración, por otro patrón establecido, opuesto, pero de la misma especie.

Sin embargo, hay otras máquinas que aprenden aparte de la máquina traductora y de la jugadora de damas. Algunas de ellas pueden ser programadas en forma completamente mecánica y otras, como la máquina traductora, precisan la intervención de expertos humanos en calidad de críticos. Me parece que los usos de las de la última clase exceden con mucho a los de la primera. Lo que es más, recuérdese que en el juego de la guerra atómica no hay expertos.

VII

Hemos completado la tarea de mostrar muchas analogías válidas entre ciertos asertos religiosos y los fenómenos estudiados por la cibernética, y hemos ido razonablemente lejos al mostrar cómo unas ideas cibernéticas pueden ser relevantes para los problemas morales del individuo. Aún falta otro campo en el que las ideas cibernéticas pueden ser aplicables a problemas con un aspecto ético: la cibernética de la sociedad y de la especie.

Desde muy al comienzo de mi interés en la cibernética he estado consciente de que las consideraciones acerca del control y la comunicación que he encontrado aplicables a la ingeniería y la fisiología eran también aplicables en la sociología y la economía. Sin embargo, me he refrenado deliberadamente de enfatizar en estos campos en igual medida que en los otros, y he aquí mis razones de tal proceder. La cibernética no existe salvo si es matemática, sino *in esse, in posse*^[25]. He encontrado que la sociología y la economía matemática o econometría sufren bajo un malentendido de lo que es el uso adecuado de las matemáticas en las ciencias sociales y de lo que puede esperarse de las técnicas matemáticas, y me he contenido deliberadamente de ofrecer un consejo que, como estaba convencido, seguramente conduciría a un torrente de trabajo superficial y poco respetado.

La física matemática ha venido a ser uno de los grandes triunfos de los tiempos modernos. No obstante, sólo durante este siglo la tarea del físico matemático ha sido apropiadamente entendida, de manera especial en relación con la tarea del físico experimental. Hasta los años críticos de 1900 a 1905, por lo general se consideraba que el inventario principal de las ideas

de la física matemática había sido completado con el trabajo de Newton; que tiempo y espacio, masa y momento, fuerza y energía, eran ideas cimentadas de una vez para siempre; y que la tarea futura de los físicos consistiría en hacer modelos en términos de esas nociones, para fenómenos que aún no hubiesen sido planteados en esos términos.

Con los trabajos de Planck y de Einstein resultó claro que la tarea del físico no era tan sencilla. Se vio que las categorías de la física no habían sido establecidas de una vez y para siempre a comienzos del siglo XVIII, y la tarea del físico ahora tenía que colocarse detrás de los conceptos newtonianos, para poner nuestras observaciones cuantitativas del mundo en un orden que debería empezar con los experimentos mismos y terminar con nuevas predicciones de observaciones y técnicas de ingeniería aplicada. El observador ha dejado de ser un inocente registrador de sus observaciones objetivas, y más bien ha venido a tomar una participación activa en el experimento. Tanto en la teoría de la relatividad como en la teoría cuántica, su papel en la modificación de las observaciones está lejos de poderse considerar despreciable. Esto ha conducido al nacimiento del actual positivismo lógico.

El éxito de la física matemática llevó a los científicos sociales a estar envidiosos de su poder, sin una clara comprensión de las actitudes intelectuales que han contribuido a ese poder. El uso de la formulación matemática ha acompañado al desarrollo de las ciencias naturales y se ha vuelto moda en las ciencias sociales. Justo como los pueblos primitivos adoptaron las modas occidentales de vestuario desnacionalizado y de parlamentarismo a partir del sentimiento impreciso de que esos ritos mágicos y vestimentas los pondrían de una vez a la par con la cultura y la técnica modernas, así los economistas han desarrollado el hábito de vestir sus más bien imprecisas ideas con el lenguaje del cálculo infinitesimal.

Al hacer esto, muestran escasamente una mayor discriminación que algunas de las naciones africanas emergentes en la afirmación de sus derechos. Las matemáticas que emplean los científicos sociales y la física matemática que usan como su modelo son la matemática y la física matemática de 1850. Un econometrista desarrollaría una ingeniosa y elaborada teoría de la oferta y la demanda, de los inventarios y el

desempleo, y similares, con una relativa o total indiferencia en cuanto a los métodos con que esas elusivas cantidades son observadas o medidas. Sus teorías cuantitativas son tratadas con el respeto incuestionable con que los físicos de una época menos sofisticada trataban los conceptos de la física newtoniana. Muy pocos econometristas están conscientes de que si van a imitar los procedimientos de la física moderna y no meramente su apariencia, una economía matemática debería empezar con un recuento crítico de esas nociones cuantitativas y de los instrumentos adoptados para recolectarlas y medirlas.

Difícil como es recolectar buenos datos físicos, es mucho más difícil recolectar largas series de datos económicos o sociales de modo que el conjunto de series tenga una significación uniforme. Por ejemplo, los datos de la producción de acero cambian su significación no sólo con cada innovación que modifique la técnica de fabricación, sino también con cada cambio social y económico que afecte a los negocios y a la industria en conjunto, y en particular, con cada tecnología que modifique la demanda de acero o la oferta y naturaleza de los materiales competidores. Verbigracia, resultará que aún el primer rascacielos hecho de aluminio en vez de acero, afectará toda la demanda de acero estructural, así como el primer barco diésel lo hizo respecto al incuestionable predominio del buque de vapor. Entonces, el juego económico es un juego en el que las reglas están sujetas a importantes revisiones, digamos cada diez años, y manifiesta una incómoda semejanza con el juego de croquet de la reina en *Alicia en el País de las Maravillas* al que ya me he referido. En tales circunstancias no hay esperanzas de dar una medida muy precisa de las cantidades involucradas.

El asignar lo que pretenden ser valores precisos a esas cantidades esencialmente vagas no es útil ni honesto, y cualquier pretensión de aplicar fórmulas precisas a esas cantidades laxamente definidas es una falacia y una pérdida de tiempo.

Aquí viene al caso un trabajo reciente de Mandelbrot. Él ha demostrado que en la manera profunda en la que el mercado de bienes está sujeto teórica y prácticamente a fluctuaciones aleatorias, provenientes de la pura observación de sus propias irregularidades es algo mucho más alocado y mucho más profundo de lo que se ha supuesto, y que las usuales

aproximaciones continuas a la dinámica del mercado deben ser aplicadas con mucha mayor precaución de lo que se ha venido haciendo, o no aplicarlas.

Entonces, las ciencias sociales son un mal campo de prueba de las ideas de la cibernética —mucho peor que las ciencias biológicas—, en las que las series son elaboradas bajo condiciones que son mucho más uniformes, de acuerdo con su propia escala del tiempo. Por ejemplo los seres humanos como estructuras fisiológicas, a diferencia de la sociedad como un todo, han cambiado muy poco desde la edad de piedra, y la vida de un individuo contiene muchos años durante los cuales las condiciones fisiológicas cambian lentamente y en forma predecible. Sin embargo, esto no significa que las ideas de la cibernética no sean aplicables a la sociología y la economía. Significa, más bien, que estas ideas deben ser probadas en ingeniería y biología antes de ser aplicadas a un campo tan poco formalizado.

Con esas advertencias, la analogía familiar entre un cuerpo político y el cuerpo del individuo, es una analogía justificable y útil. Es al cuerpo político a la que se deben aplicar muchas consideraciones éticas, y a esa parte de la religión que es esencialmente una paráfrasis de la ética.

VIII

He trabajado así en una serie de ensayos que están unidos porque cubren la totalidad del tema de la actividad creativa, de Dios a la máquina. La máquina, como ya he dicho, es la contrapartida moderna del Golem del rabino de Praga. Puesto que he insistido en discutir la actividad creativa bajo un solo encabezado, y en no fragmentarla en piezas separadas pertenecientes a Dios, al hombre y a la máquina, considero que no me he tomado más que una licencia normal de autor al llamar a este libro *DIOS Y GOLEM, S. A.*



NORBERT WIENER (Columbia, Estados Unidos, 1894 - Estocolmo, Suecia, 1964). Matemático estadounidense. Hijo de un profesor de lenguas eslavas emigrado a Harvard, fue un niño extremadamente precoz que a la temprana edad de dieciocho años obtuvo un doctorado de lógica matemática en Cambridge, Reino Unido, donde estudió con Bertrand Russell.

Luego viajó a Alemania para seguir estudiando en la Universidad de Gotinga. Tras fracasar en su intento de enrolarse en el ejército y combatir en la Primera Guerra Mundial, en 1919 el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) le propuso organizar y estructurar un departamento de matemáticas.

Científico de múltiples intereses, en la década de 1920 participó, junto con Banach, Helly y Von Neumann, en el desarrollo de la teoría de los espacios vectoriales; más tarde orientaría su atención hacia las series y las transformadas de Fourier y la teoría de números.

En los años cuarenta elaboró los principios de la cibernética, teoría interdisciplinar centrada en el estudio de las interrelaciones entre máquina y ser humano y que en la actualidad se encuadra dentro del ámbito más general de la teoría de control, el automatismo y la programación de computadoras. En 1947 publicó el ensayo *Cibernética o control y comunicación en el animal y en la máquina*. Se interesó por la filosofía y por la neurología como áreas del saber fundamentales para la cibernética.

Notas

[1] Wiener, N., *The Human Use of Human Beings; Cybernetics and Society*, Houghton Mifflin Company, Boston, 1950. Existe al menos una versión en Castellano: *Cibernética y Sociedad*, traducción de José Novo Cerro, Editorial Sudamericana, Colección Ciencia y Cultura, Buenos Aires, 1958.

<<

[2] Wiener, N., *Cybernetics, or Control and Communication in the Animal and the Machine*, The Technology Press and John Wiley <<

[3] Véase: «El hombre y la máquina», en: El Concepto de información en la Ciencia contemporánea, México, Siglo XXI Editores, 1966, pp. 71-91. <<

[4] «Lo creo porque es increíble». <<

[5] Samuel, A. L., «Some Studies in Machine Learning, Using the Game of Checkers», IBM Journal Of Research and Development, vol. 3, pp. 210-229 (julio, 1959). <<

[6] Juego conocido también por otros nombres como: juego del gato, tatetí, trique, tres en gallo y la vieja. <<

[7] NOTA DE ACTUALIZACIÓN:

Cuando Norbert Wiener escribió, esto era cierto, pero en julio de 2007 se encontró la resolución matemática para el juego de damas («checkers» en inglés), siendo su resultado el de tablas. Es decir, si ambos contrincantes juegan siempre la partida perfecta, en base al análisis completo y perfecto, las tablas están garantizadas. Chinook es el nombre del *software* creado por Jonathan Schaeffer que finalmente resolvió el desarrollo de la partida hacia el empate ineludible. <<

[8] Se refiere al personaje de «Manfred», poema dramático escrito por Lord Byron en 1816-1817. <<

[9] Por ejemplo, como parte de una función de evaluación lineal:
 $10 \times \text{Control} + 3 \times \text{Movilidad} + 2 \times \text{Piezas} \Rightarrow 9 \times \text{Control} + 4 \times \text{Movilidad} + 4 \times \text{Piezas} <<$

[10] NOTA DE ACTUALIZACIÓN:

Desde la época en que Norbert Wiener escribió esto, la computadora ha progresado grandemente, habiendo llegado a niveles de juego equiparables a los de el ajedrez de los campeones mundiales humanos. Ejs: la máquina Deep Blue de IBM, y programas como Rybka, Hydra, Hiarcs y Fritz. 19 <<

[¹¹] Cybernetics, The M. I. T. Press y John Wiley <<

[12] La pauta de reproducción de genes por el desdoblamiento de una doble espiral de ADN necesita complementarse con una adecuada dinámica para ser completa. <<

[13] Permítaseme explicar aquí qué es un flujo de «efecto disparo» de electricidad. La electricidad no fluye continuamente sino en un flujo de partículas cargadas, cada una de las cuales tiene la misma carga.

En general, éstas no fluyen a intervalos fijos, sino con una distribución aleatoria en el tiempo, que superpone, al flujo estable, fluctuaciones que son independientes para intervalos de tiempo no traslapados. Esto produce un ruido con una distribución uniforme de frecuencias. Lo que a menudo constituye una desventaja y limita la capacidad de la línea para llevar mensajes. Sin embargo existen casos, como el presente, en que esas irregularidades son justamente las que queremos producir, y hay dispositivos comerciales para producirlas.

Se conocen como generadores de efecto disparo. <<

[14] Cybernetics, The M. I. T. Press y John Wiley & Sons., Inc., Nueva York, 2.^a ed., capítulo IX, 1961. <<

[15] Gabor, D., «Electronic Inventions and Their Impact on Civilization», Inaugural Lecture, 3 de marzo de 1959, Imperial College of Science and Technology, Universidad de Londres, Inglaterra. <<

[16] Cuando el delito del reo resultaba evidente, la Inquisición lo declaraba culpable, y lo entregaba al brazo seglar, o brazo secular, es decir, a la justicia ordinaria de la nación, la cual, a tenor de sus leyes, aplicaba la sentencia. Las penas eran las comunes en aquella época para los demás criminales. <<

[17] O «Simón el Mago», llamado también «Simón de Gitta». De su propuesta deriva la palabra «simonía», que designa el pecado consistente en pagar por obtener prebendas o beneficios eclesiásticos. <<

[18] El *Libro de las mil y una noches* es a veces llamado, con mayor fidelidad al original árabe «Alf Laylah Wa Laylah», el *Libro de las mil noches y una noche*. <<

[¹⁹] Esta historia apareció por vez primera en el *Philopseudés* de Luciano de Samósata, Goethe compuso *El Aprendiz de Brujo* («Der Zauberlehrling») como una balada de catorce estrofas. <<

[20] En 1705 Thomas Newcomen hizo un motor de vapor donde el pistón se conectaba por una cadena con un extremo atado a una barra. El vapor de la caldera admitido al cilindro permitía levantar el pistón mediante un contrapeso colgado al otro extremo de la barra. Entonces la válvula estaba cerrada y el vapor en el cilindro se condensaba por un chorro de agua fría. Esta condensación creaba un vacío en el cilindro y el pistón era forzado a descender por la presión de la atmósfera, y se realizaba trabajo alzando la palanca de una bomba atada al otro extremo de la barra. La historia común es que un muchacho perezoso pero ingenioso llamado Humphrey Potter que había sido puesto para voltear la válvula, hizo que el motor cerrara y abriera sus propias válvulas por medio de cuerdas e inventó así el primer tren de válvula automático. Los motores de Newcomen se usaron solamente para bombear agua. <<

[21] Jacobs, W. W., «The Monkey's Paw», en *The Lady of the Barge*, Dodd, Mead, and Company; también en *Model Short Stories*, Ashmun, Margaret, Ed. The Macmillan Co., Nueva York, 1915. <<

[22] Se ha traducido como «tolerante a fallas» el término «failsafe» del texto original en inglés, que califica a un dispositivo diseñado y construido de tal manera que si llegase a fallar de cierto modo, no causaría daño, o causaría el mínimo daño a otros dispositivos o a personas. <<

[23] NOTA DE ACTUALIZACIÓN:

Desde la época en la cual Norbert Wiener escribió esto, los progresos de la microelectrónica y la nanotecnología han superado ampliamente estas miniaturizaciones. Por ejemplo, el procesador Penryn de Intel, anunciado en noviembre de 2007, contiene transistores de 45 nanómetros, o sea tan sólo poco más del doble del tamaño de un Rhinovirus. Paralelamente, el costo de uno de estos transistores es del orden de un millonésimo del costo de un transistor en 1968. (Fuente:

http://www.intel.com/pressroom/kits/45nm/Intel45nmFunFacts_FINAL.pdf). <<

[24] Wiener, N., «Science and Society», Voprosy Filosofii, N.º 7 (1961). <<

[25] Es decir, si no «efectivamente», «realmente»; al menos «potencialmente», «con posibilidad de existencia» de ser matemática. <<