

ÉTICA  
PARA  
MÁQUINAS

—

JOSÉ IGNACIO  
LATORRE

*Ariel*

ÉTICA  
PARA  
MÁQUINAS

—

JOSÉ IGNACIO  
LATORRE

*Ariel*

Primera edición: febrero de 2019

© 2019, José Ignacio Latorre Sentís

Derechos exclusivos de edición en español:

© Editorial Planeta, S. A.

Avda. Diagonal, 662-664, 08034 Barcelona

Editorial Ariel es un sello editorial de Planeta, S. A.

[www.ariel.es](http://www.ariel.es)

ISBN: 978-84-344-2965-9

Depósito legal: B. 673-2019

Impreso en España

El papel utilizado para la impresión de este libro  
es cien por cien libre de cloro y está calificado como papel ecológico.

No se permite la reproducción total o parcial de este libro, ni su incorporación a un sistema informático, ni su transmisión en cualquier forma o por cualquier medio, sea éste electrónico, mecánico, por fotocopia, por grabación u otros métodos, sin el permiso previo y por escrito del editor. La infracción de los derechos mencionados puede ser constitutiva de delito

contra la propiedad intelectual (Art. 270 y siguientes del Código Penal).

Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

Puede contactar con CEDRO a través de la web [www.conlicencia.com](http://www.conlicencia.com)

o por teléfono en el 91 702 19 70 / 93 272 04 47.



# 1

## **Máquinas sin alma**

La máquina ha ganado al hombre.

MAHATMA GANDHI,  
*All Men are Brothers*

Hablar de máquinas con alma puede parecer una provocación. Lo es.

En el siglo xvii, René Descartes propuso dividir el estudio del universo en tres partes claramente separadas: el mundo externo, el alma humana y dios. Su contribución supuso un paso de gigante para el conocimiento del mundo físico porque lo aisló de todo tipo de creencias supranaturales. Descartes nos dijo que era posible estudiar la naturaleza y sus leyes sin entrar en conflictos teológicos. También ofreció un instrumento para avanzar en el conocimiento: el *método* (*Discours de la méthode*, 1637). Todo problema debía reducirse a principios básicos tan simples como fuera posible; luego se debían elaborar nuevas verdades sobre ellos; finalmente, se debían reunir las partes del análisis y extraer un conocimiento global sobre el problema inicial. Poco después, Isaac Newton presentó en sus *Principia* (*Philosophiæ Naturalis Principia Mathematica*, 1687) los postulados básicos que rigen el movimiento de los objetos inanimados. La hazaña intelectual de Newton es colosal. Él mismo tuvo que dejar de lado sus propios prejuicios. Abandonó, por ejemplo, la idea de que la inercia de las partículas fuera un alma asociada a ellas. El desarrollo tecnológico que nos rodea es fruto de aquellas semillas.

Nuestro conocimiento ha avanzado de forma tan vertiginosa que nos hemos enfrentado a dar el segundo paso en el esquema descartiano. Queremos intentar analizar la esencia del alma humana. Es un problema que muchos pensadores han analizado y para el que se han presentado propuestas diferentes y enrevesadas. El estudio del cerebro también nos ha proporcionado nuevos elementos de comprensión, siempre insuficientes, siempre provocadores. Ahora nos enfrentamos a una idea genuinamente diferente: ¿tal vez no comprendamos el alma humana, pero podemos simularla artificialmente?

Nadie negará que escuchar la voz de una inteligencia artificial que nos susurre sedosas palabras de amor nos puede dejar aturcidos. El oído es el sentido humano más primitivo, el que nos transmite con más fuerza la inquietud o el confort. Decía Friedrich Nietzsche que el oído es el sentido del miedo. Cuando estamos a oscuras, en una noche cerrada o en una habitación sin luz, el oído es nuestro último bastión de protección. Un chasquido puede erizarnos los pelos. Estamos en estado de alerta extrema. Podemos reaccionar a un sonido, huir y salvar la vida. En cambio, cuando alguien nos habla con palabras amables, nos sentimos bien. Queremos escuchar a un buen contador de cuentos, recordamos toda nuestra vida la voz de nuestros padres dándonos las buenas noches, adoramos que alguien nos hable con ternura. Hemos de estar preparados. Poco importa que las palabras que escuchemos por teléfono sean auténticas o sintetizadas por máquinas bien programadas. Aunque todo sea artificial, aunque todo sea mentira, falso e inhumano, las palabras de amor lentas y suaves nos devolverán la sonrisa. Algo, alguien, hace semblante de tenernos en cuenta.

Es más que probable que una generación de sofisticados algoritmos penetrará en nuestra intimidad. Esos algoritmos se convertirán en los compañeros más fieles de personas solitarias o de avanzada edad. De forma casi involuntaria, los humanos empezaremos a hablar con las inteligencias artificiales como si se tratase de personas. Las insultaremos (¿quién no ha insultado a su ordenador?), suplicaremos que nos hagan caso (¿quién no ha suplicado a su ordenador?), serán nuestras confidentes. Si no nos placen, nos divorciaremos de ellas. En ese instante la duda estará sembrada: ¿qué entendemos por alma? No se trata de tener una profunda discusión filosófica sobre la esencia del alma humana. Es más sencillo. De forma coloquial hablamos de alma queriendo decir que somos capaces de hacernos amigos de esa inteligencia, sea cual sea su esencia.

Antes de abordar el delicado tema del alma de las máquinas hemos de recordar el camino que nos ha llevado hasta aquí. En contraposición a inteligencias artificiales probablemente amigas, los humanos empezamos creando máquinas básicas, toscas, definitivamente exentas de cualquier atisbo de moral, máquinas sin alma que sirvieron al bien y al mal.

## FUERZA BRUTA

No debemos permitir que se crea que todo el progreso científico puede reducirse a mecanismos, máquinas, engranajes, aunque esa maquinaria también tenga su belleza.

MARIE CURIE, citado por Eve Curie  
en *Madame Curie: A Biography*

### Instrumentos

El primer paso en la evolución de las máquinas construidas por los humanos corresponde a la creación de instrumentos que nos ayudaron a realizar tareas básicas.

Una magnífica ilustración de esta idea se halla en la famosa película *2001: una odisea del espacio* (1968) de Stanley Kubrick, basada en el relato *El centinela* de Arthur C. Clarke. Las escenas de esta película ambientadas en el Pleistoceno son muy significativas. En ella, dos tribus de primates pelean entre sí por dominar un territorio. De repente, uno de los monos toma un gran hueso, podría ser el fémur de un animal, y lo usa para asestar golpes. Ese homo primitivo deduce que puede usar el hueso para atacar a sus enemigos. El mono ha comprendido que un hueso es un instrumento de guerra, es un arma que golpea más



fuerte que él mismo. La lucha es feroz. No duda. Con un instrumento puede destrozarse un cráneo. La célebre escena termina mimetizando el movimiento del hueso en el aire con el de una estación espacial. Allí se prepara un viaje al confín del sistema solar en una nave controlada por una inteligencia artificial. La locura de la guerra se transforma en un elegante vals de Johann Strauss. De nuevo, como si Atenea hubiera participado en el guion de la película, guerra y civilización se dan la mano.

La reflexión que nos brindan Clarke y Kubrick propone una idea clara: crear un instrumento dio lugar a un salto intelectual evolutivo brutal. Merece la pena recordar el juego simbólico que Kubrick y Clarke hacen con un perfecto y misterioso monolito. La presencia de un objeto con forma de un paralelepípedo perfecto coincide con el salto intelectual en el homínido. ¿Se insinúa que una inteligencia superior extraterrestre nos ayuda? Si es así, vale la pena observar que el guion de la película sugiere que el primer uso de la nueva inteligencia que recibe el homo es matar a un congénere. El monolito actúa como centinela de nuestra civilización. Tan pronto como los humanos empiezan a explotar la luna, el monolito es desenterrado y activa una señal con un significado claro: la inteligencia del homo ha llegado a un nivel avanzado. El mensaje es enviado al confín del sistema solar.

Volvamos a la prehistoria. Es válido argumentar que el primer humano del Paleolítico que utilizó el sílex como piedra cortante dio un paso de gigante. Con el sílex nuestra especie humana creó un instrumento que permitía crear otros instrumentos. Empezamos a crear máquinas que crean máquinas. Este salto conceptual añadido a la capaci-

dad humana de colaborar, de cazar en equipo, propició una nueva era en la que los homo empezaron a subyugar a las demás especies.

La evolución de los instrumentos, cada vez mejores, más útiles, más asequibles para todo el mundo, nunca ha cesado. Llevamos tantos milenios diseñando máquinas elementales que nos ayudan en todo que ya no prestamos atención a la maravilla intelectual que ello encierra.

## **Humanos aumentados**

Dotar a un humano de una herramienta es equivalente a aumentar sus capacidades. Un humano con un hacha en la mano es un leñador que consigue madera para calentarse, o es un bombero que puede derribar una puerta y salvar a otras personas de un fuego, o es un guerrero que mata. Un humano con un hacha es un humano aumentado. Una persona que lleva gafas para corregir una terrible miopía puede moverse de forma autónoma, puede curar la herida de otro humano, deja de estar limitada. Una persona que usa gafas es un humano aumentado.

Un humano con un instrumento es un humano aumentado.

El pasado es la historia evolutiva de humanos aumentados en sus capacidades físicas. El futuro está destinado a depurar humanos aumentados tanto física como intelectualmente, viviendo una realidad aumentada.

Vivir una realidad como seres aumentados tiene claras ventajas. Dejamos de depender de inclemencias, no sufri-

mos terribles dolores físicos, disponemos de más tiempo libre. Los seres aumentados tienen también serios problemas. Sus vidas se apartan de la naturaleza, no saben cómo vivirlas, no logran relacionarse entre sí de forma satisfactoria. Estoy seguro de que cada uno de nosotros se sabe en parte privilegiado, en parte estafado, por el rápido progreso tecnológico que nos engulle.

## **Máquinas incansables**

Los instrumentos básicos tienen una utilidad inmediata. Podemos cortar los alimentos a la hora de comer con cuchillo, pero acto seguido lavamos el cubierto y lo guardamos en su cajón. Un tenedor, un peine, un bolígrafo son instrumentos que usamos puntualmente cuando los necesitamos.

Hay otros tipos de instrumento que funcionan constantemente y que, por lo tanto, nos son útiles de forma continuada. Un ejemplo antiguo es un molino de agua en un río. Aprovechamos la corriente de agua para mover unas aspas que son capaces de hacer otros trabajos. Ese molino puede moler granos de trigo para conseguir harina y hacer pan. La astucia del diseño de un molino reside en el aprovechamiento de la energía que la naturaleza nos brinda de forma gratuita.

¡Atención! Sin casi darnos cuenta hemos llegado a una idea relevante: las máquinas consumen *energía*.

Si volvemos a la imagen del primate que blande un fémur y ataca a sus enemigos nos percatamos de que toda la ener-

gía que proyecta en cada golpe procede del propio mono. Él aprovecha el hecho de que el extremo de un palo en rotación lleva más velocidad, más energía, y por lo tanto causa más destrucción. Pero es el mono el que debe aportar esa energía. Los caballeros medievales que luchaban en duras justas quedaban agotados. Cada golpe de espada que asestaban a su contrincante requería un esfuerzo inmenso.

Parece difícil concebir instrumentos que aprovechen energía externa, no humana, pero no es así. El ejemplo del molino es claro, siempre podemos aprovechar la energía que nos ofrece la naturaleza y reciclarla astutamente en nuestro beneficio. Hace falta ser creativos e inventar la rueda, aspas y sistemas de canalización. Una vez ideado cada uno de los elementos necesarios, construimos una máquina compleja extremadamente útil para aliviar nuestro trabajo.

Un ejemplo de máquina casi incansable es un buen reloj de pared. Esas magníficas máquinas con sus grandes agujas que se mueven haciendo un ruido característico han decorado los salones elegantes durante siglos. ¿Cómo logra un reloj de pared mantenerse en movimiento tanto tiempo? Es sencillo. El reloj se mueve gracias a que un enorme peso pende de un cable conectado a los engranajes de las agujas. La gravedad tira del peso hacia abajo y esa es la fuerza que aprovechamos. Solo es necesario levantar el peso cada cierto tiempo para que el reloj funcione sin pausa. Un reloj de pulsera antiguo también tiene su reserva de energía. Se trata de un muelle. Al dar cuerda a un reloj antiguo, forzamos el muelle. Poco a poco nos devolverá la energía para así mover los engranajes del reloj.

Lo esencial para tener instrumentos incansables es disponer de una fuente de energía. No importa el origen de esta energía; sea cual sea, es útil. Por ejemplo, hace sol, se evapora el agua del mar, llueve sobre un pantano, dejamos caer el agua sobre turbinas, pasamos la electricidad por cables hasta la ciudad, enchufamos un coche eléctrico a la red y cargamos sus baterías, el coche se mueve durante cientos de kilómetros. La energía originada en el sol ha ido pasando de una forma a otra hasta que disponemos de una máquina que la aprovecha para realizar una tarea determinada: transportarnos.

## **La era industrial**

Si tomamos perspectiva, la aparición de máquinas incansables, potentes, que todo lo transformaron para bien y para mal, está asociada a la máquina de vapor. Se atribuye a James Watt, en el siglo XVIII, el construir una máquina ya sofisticada que transforma calor en movimiento controlado. Surge la idea de quemar madera o carbón, calentar agua que se evapora, aprovechar la enorme presión del vapor obtenido. Esta presión, a su vez, mueve bielas, engranajes, mecanismos que producen giros. De esta forma, los humanos logramos construir un telar o una locomotora, fuimos capaces de mover maquinarias pesadas que producían nuevos instrumentos, pudimos transformar el trabajo rudo original en el trabajo de alimentar a las máquinas de vapor.

La rápida transformación tecnológica hacia una sociedad industrial no fue sencilla. Se perdieron oficios, se centralizó la producción de bienes, aparecieron potentes corpo-

raciones que explotaron a sus empleados y estos se organizaron en sindicatos para defender sus derechos. El aire dejó de ser respirable en las ciudades que crecieron desproporcionadamente. Las horas de trabajo se multiplicaron para unos, se redujeron para otros. El dinero en circulación aumentó y las grandes crisis económicas no tardaron en llegar. Ningún dirigente político comprendió el cambio. Casi todos lo sufrieron.

No es injusto decir que todavía a día de hoy vivimos las consecuencias de una transformación industrial de la sociedad hecha a espaldas de criterios éticos. Tampoco sería justo juzgar todo el progreso tecnológico como algo terrible, que hubiera sido mejor que jamás hubiera existido. Todo extremo es incorrecto, desde mi punto de vista.

El aumento en la duración de la vida humana, en el primer mundo, es un hecho incuestionable. La dureza de nuestros trabajos es, en general, mucho menor que la de cualquier trabajador medieval fuera del campo, pescador e incluso artesano. Vivimos más, y más cómodamente. Eso no implica que seamos más o menos felices.

El conocimiento es imparabile, los humanos siempre seguirán aprendiendo. La pregunta crucial es cómo debemos gestionar el nuevo saber que vamos acumulando.

En este nuevo siglo XXI vivimos una nueva transformación social. Estamos pasando de la era industrial a la era de la información. Nuestras vidas están dominadas por la gestión de la información. Nuestros datos, nuestro entretenimiento, nuestro consumo es manejado como información valiosa. Nuestras relaciones personales son más y

más virtuales porque los medios que usamos para comunicarnos nos lo permiten. Somos seres ávidos de información inmediata, correcta o incorrecta, profunda o superficial, pero siempre insuficiente. Deseamos más y más información.

Nos espera el siguiente paso, la deshumanización del ser humano, de la que hablaremos más adelante.

## **Máquinas veloces**

Hemos construido máquinas fuertes, pero también máquinas veloces. Un coche eléctrico es rápido. De hecho, puede ser rapidísimo. Los motores eléctricos tienen una ventaja sobre los motores de gasolina. Los primeros son más potentes que los segundos a bajas revoluciones, tienen lo que se llama un mejor par motor. Por eso nuestros trenes son eléctricos. Arrancar un tren con gasolina es toda una proeza. Resulta más ventajoso llenar de catenarias las vías de ferrocarril, de tranvía y de metro para poder mover grandes trenes.

Pero un automóvil no puede correr infinitamente rápido sobre la tierra. Si un coche normal acelera hasta velocidades de más de 200 km/h, deja de rodar y empieza a volar. Enseguida nos viene a la mente un coche de fórmula 1. ¿Cómo logran esos bólidos llegar a más de 300 km/h? La razón que permite a un coche de competición mantenerse en el suelo es que va equipado con alerones. Estas piezas están diseñadas para que el aire que incide sobre ellas produzca un empuje hacia abajo que mantiene al coche pegado al suelo. El alerón genera una fuerza que supera

con creces a la del propio peso del coche. Un coche de fórmula 1 podría correr boca abajo por un techo, siempre que fuera rapidísimo, porque la fuerza producida por el alerón supera a la de la gravedad. Si, por culpa de cualquier incidente, un coche de fórmula 1 levanta un poco la parte delantera de su chasis, el bólido sale volando. Su alerón ya no tiene la posición correcta para ceñirlo al suelo, todo lo contrario, lo envía hacia arriba. El accidente está servido.

Hay una forma sencilla de comprender que el límite de la velocidad que podemos alcanzar sobre la tierra está en el aire que nos rodea. Sin atmósfera, un coche podría correr a velocidades de vértigo. Para que un objeto pueda escapar de la Tierra es necesario que viaje a unos once kilómetros por segundo. La fuerza de la gravedad es potente, a bajas velocidades un coche siempre iría bien pegadito al suelo. Pero la presencia de aire produce dos efectos notables. Por una parte, el aire frena al coche. Por otra, el aire logra sustentar a objetos. Veamos ambos efectos con más detenimiento.

Las colisiones de las moléculas del aire (principalmente nitrógeno y oxígeno) contra las de la carcasa del coche producen lo que llamamos rozamiento. A mayor velocidad relativa entre las moléculas del aire y las del coche, más fuerte es el rozamiento y más nos cuesta acelerar. La única manera de reducir su efecto es construir coches con una silueta aerodinámica. De esta forma, el aire se desliza con un mínimo de rozamiento sobre la superficie del vehículo. Un buen diseño aerodinámico minimiza el rozamiento, pero no lo elimina. El rozamiento crece con la velocidad del coche. A más velocidad, necesitamos más



energía para acelerar. Un coche veloz gasta más gasolina que uno lento porque roza más con el aire.

El segundo efecto del aire es que al pasar por debajo del coche, puede empujarlo hacia arriba. El aire, claro, pasa tanto por encima como por debajo del coche. A altísima velocidad, ambos efectos dominan todo el movimiento y ya no importa que exista la gravedad.

El efecto del aire contra un coche es idéntico al que produce el agua sobre nuestro cuerpo cuando buceamos. Bajo el agua nos movemos con extrema libertad. Podemos sumergirnos, nadar horizontalmente, subir hacia la superficie. Todo es fácil bajo el agua. La gravedad parece no existir. La razón es que las mismas moléculas que nos impiden avanzar nos ayudan a sustentarnos. Para que nos hundamos, el agua se ha de desplazar y eso va en contra del principio de inercia. El agua prefiere no moverse. Como el agua y el cuerpo humano tienen densidades similares, los efectos gravitatorios no son dominantes.

Así nace la idea de construir una máquina admirable: el avión. Volar se basa en aprovechar el empuje que puede hacer el aire por debajo de los objetos que se mueven. Qué mejor que diseñar el ala de un avión como una superficie plana extensa con una curvatura optimizada. El ala nos hace flotar en el aire, siempre que el aire pase por su parte superior a mayor velocidad que por su parte inferior. Si construimos un cajón, sumamos una hélice que propulsa el aire hacia atrás y añadimos alas bien diseñadas, tenemos un avión que vuela. Así funcionan la avioneta de la película *Out of Africa*, los aviones de las guerras mundiales o los que atraviesan el Gran Cañón del Colorado.

El hombre ha aprendido a liberarse del suelo. Basta disponer de energía y aprovechar el rozamiento del aire. Volamos. Nuestros primeros aviones se alzaron centenas de metros sobre la tierra, nos mostraron la belleza de la naturaleza de una forma que siempre nos atrae. Volar es ser libre. Un hombre que vuela es un hombre aumentado a una tercera dimensión.

Existen otras dos formas de ser todavía más veloces en la tierra, basta mejorar el balance energía-rozamiento. Primera idea: pasar de motores de hélices a motores a reacción. Segunda idea: eliminar el aire.

Un motor a reacción toma gases y los expulsa hacia atrás con una violencia brutal. La tercera ley de Newton dicta que a la acción de lanzar los gases hacia atrás, le corresponde una reacción que empuja al motor hacia adelante. Para que el resultado sea notable, el motor debe ser muy potente y por lo tanto gastará mucha energía. Esta es la base de nuestros aviones modernos. Los hacemos volar a velocidades próximas pero inferiores a la del sonido, que es de 1.235 km/h. Podemos volar más rápido, como lo hacía el primer avión comercial supersónico, el Concorde, o como lo hacen los cazas militares, pero máquinas de este tipo son más caras de producir y amortizar, y tienen un mayor impacto negativo en nuestro entorno. A día de hoy, la máquina más veloz conducida por un humano en la tierra es un caza muy especial que alcanzó unos 7.000 km/h. Por encima de este avión nos quedan los cohetes que llevaron a los humanos a la luna. Viajaron a unos 40.000 km/h porque en el espacio exterior no hay atmósfera, no hay rozamiento.

La velocidad de un cohete nos sugiere la segunda idea para viajar rápido, eliminar el aire que nos rodea. Si todo va bien, trenes que viajarán en túneles donde se hace el vacío lograrán alcanzar velocidades comparables a las de los aviones. Nuestros futuros trenes recorrerán Europa de punta a punta en pocas horas o minutos.

## **Máquinas precisas**

Creamos máquinas toscas y máquinas precisas. Un martillo es un instrumento bastante burdo. También lo es un arado, una hoz o un cuchillo. Nos aportan fuerza bruta gracias a que explotamos leyes básicas de la física como la de la palanca. Podríamos argumentar que un molino es una máquina más sutil porque utiliza la fuerza del aire o del agua para generar un movimiento de rotación que nos permite moler harina. Un molino requiere engranajes que han de ajustarse y ser robustos. El perfil de los dientes de estos engranajes ha de estar bien diseñado. Esa necesidad se hace extrema en un reloj.

En efecto, los relojes son máquinas increíblemente precisas. La construcción de un buen reloj es una forma de medir el nivel tecnológico de las civilizaciones que nos han precedido. Casi todas las culturas antiguas lograron medir el tiempo con una cierta precisión utilizando el movimiento de los astros. También inventaron el reloj de agua, la clepsidra, o el de arena. Pero el salto de precisión se produce cuando los humanos introdujeron la idea de utilizar engranajes para transformar una fuente de energía en un movimiento periódico, en un tictac.

La historia de la construcción de los relojes precisos es apasionante y nos llevaría lejos de las máquinas éticas. Baste aquí un esbozo. Un reloj es el paradigma de máquina perfecta, sin alma, precisa, implacable. Los primeros pasos para construir un buen reloj empezaron en el siglo XVIII, gracias al trabajo del artesano John Harrison. La historia de Harrison y su intento de ganar el premio de la Longitud Act, establecido por la reina Anne en Inglaterra, es digna de una lectura detenida. El problema central era que los marineros no tenían ninguna forma fiable de saber su posición en el mar. Podían establecer su paralelo con la altura del sol, pero ningún método permitía saber el meridiano. La Tierra gira sobre su eje y eso hace que veamos como el cielo parece girar sobre nuestra cabeza. Una forma de resolver el problema de la longitud es tener un buen reloj. Si el sol en alta mar está en su cénit y tenemos en la mano un reloj sincronizado con otro reloj en Londres que marca las 4 de la tarde, tenemos 4 horas de diferencia. Eso implica que estamos a unos 60 grados al oeste de Londres (cada hora se corresponde con 15 grados de longitud, dado que un día de 24 horas corresponde a girar una vuelta de 360 grados). Un buen reloj permitiría a la flota militar inglesa navegar de forma precisa. De nuevo, el conocimiento se traduce en máquinas que podemos utilizar para el bien y para el mal.

La lucha por lograr un buen reloj que ayudase a la navegación en alta mar no tuvo cuartel. Los astrónomos buscaron la solución en el movimiento de la luna y las estrellas, mientras que los relojeros buscaron nuevas ideas para construir engranajes que funcionasen sin lubricantes y sin error. Grandes personajes de la historia de la talla de Isaac Newton, Edmond Halley o John Flamsteed participaron

en la lucha, pero fue el relojero John Harrison quien construyó el primer cronómetro. Su cuarto reloj presentado al premio, el H4, logró una precisión admirable, cometía un error de menos de 1 s al día.

La llegada de la mecánica cuántica establece los estándares de precisión actual. Tenemos relojes atómicos que tienen precisiones de una parte en diez billones. Podemos colocar relojes atómicos en órbita y crear el sistema de geoposicionamiento GPS. Necesitamos relojes precisos para navegar, para geoposicionar objetos, incluso para tener una sincronización necesaria en los mercados de valores donde se compran y venden acciones. Hoy en día, nuestros mejores relojes cuánticos tienen precisiones de una parte en 100.000.000.000.000.000.000 (un uno segundo de veinte ceros, un milisegundo comparado con la edad del universo). Es una proeza tecnológica que nadie podía imaginar hace un siglo.

La mecánica cuántica está detrás de la gran precisión de nuestras máquinas modernas. Los ordenadores, por ejemplo, emplean un control cuidadoso del movimiento de electrones en los circuitos, de cómo actúan en los transistores, de cómo la información se puede guardar en memorias magnéticas. Hay otros muchos avances conceptualmente profundos asociados a nuestro control cuántico de la materia. Dominamos la naturaleza, que sigue leyes cuánticas, y ahí reside la razón de la enorme precisión de nuestras máquinas.

## Máquinas asesinas

Los humanos destruyen a otros humanos. La agresividad, el odio, la necesidad de matar siguen codificados en nuestros genes. El fuerte suprime al débil, ocupa su espacio y se hace con sus recursos. La presión evolutiva por aniquilar a miembros de la misma especie va mermando con el paso de los milenios, pero lo hace tan poco a poco que seguimos siendo un peligro para nosotros mismos y para el planeta Tierra.

No existe un solo avance tecnológico que los humanos no hayamos utilizado en contra de nuestra propia especie. Si un homo antiguo aprendió a golpear con un fémur, lo aprovechó para agredir a sus congéneres. Cuando Arquímedes comprendió leyes básicas de la óptica, supuestamente ingenió espejos ustorios (en la defensa de Siracusa frente a las tropas de Marcelo) que eran capaces de concentrar rayos de luz y quemar las velas de barcos romanos enemigos. El fuego lo utilizamos para arrasarnos campos, quemar aldeas, levantar piras y matar a los que opinan diferente. La ingeniería ha dado lugar a todo tipo de armas, a cual más letal. La ciencia básica no se queda a la zaga. Con el control de las moléculas, los humanos han envenenado, han creado gases letales. La biología, ciencia de la vida, ha sido utilizada para construir las más terribles armas biológicas.

Las armas son las máquinas sin ética por excelencia.

Pero en este capítulo solo hablaré de una de las armas que el hombre ha construido: la bomba atómica. Comprender el átomo nos ha enseñado a liberar la energía que encie-

rra en su interior y, claro, sin dudarle un segundo, hemos diseñado la bomba más mortífera jamás empleada contra los humanos.

Los avances en el estudio de materiales radioactivos de principios del siglo xx desembocaron en el descubrimiento de la fisión nuclear. Quisiera rendir homenaje a Lise Meitner, quien junto a Otto Frisch y a la par que Otto Hahn comprendió que un núcleo atómico puede escindirse basándose en trabajos de científicos anteriores. Su investigación nunca recibió un justo y necesario premio Nobel debido al feroz sesgo de género que las instituciones científicas tenían en la primera mitad del siglo xx. Es necesario ensalzar alto y claro el enorme mérito de Meitner para hacer justicia intelectual, porque queda mucho camino por recorrer.

Al producirse una fisión de un átomo, se puede liberar una pequeña parte de la energía de ligadura que mantiene unido a su núcleo. Fue Enrico Fermi quien logró demostrar experimentalmente en 1942 que los neutrones liberados en la fisión nuclear del uranio 235 pueden ser utilizados para iniciar otros procesos de fisión, formando así una reacción en cadena. Cada una de esta sucesión de fisiones libera energía. El proceso crece exponencialmente. El principio lógico para crear un arma totalmente nueva quedó demostrado.

En 1941, el presidente de Estados Unidos, Franklin D. Roosevelt aprobó el célebre Proyecto Manhattan destinado a construir una bomba que aprovechase la energía nuclear. La mayor concentración de científicos de primera fila se dio en Los Álamos, bajo la dirección de Robert

Oppenheimer. El primer ensayo, es decir, la primera verdadera explosión nuclear provocada por humanos de la historia, se realizó el 16 de julio de 1945 a las 5:29:45 horas de la mañana en el desierto de Alamogordo bajo los atentos ojos del general Leslie Groves. Ese mismo día Harry Truman anunció a sus aliados Winston Churchill y Iósif Stalin, en la conferencia de Potsdam, que disponía de una nueva bomba de inusitada potencia. La Unión Soviética iba a invadir Japón en agosto. Truman se apresuró y lanzó las bombas en las ciudades de Hiroshima y Nagasaki el 6 y el 9 de agosto de 1945, respectivamente. Rusia declaró la guerra a Japón ese 9 de agosto. Es un consenso entre los historiadores que la bomba atómica no fue utilizada para derrotar a Japón, sino para que Estados Unidos mostrase al mundo su poderío e iniciase la guerra fría contra el bloque soviético.

Es duro pensar que un avance científico tan increíble como comprender el núcleo atómico y las leyes cuánticas que lo rigen tuviera como primera aplicación la muerte de centenares de miles de humanos y condicionase toda la geopolítica posterior. Atenea se vistió con su traje de guerra.

En una entrevista con Roy J. Glauber (premio Nobel 2005 por sus ideas sobre coherencia en óptica cuántica y último científico en vida de la división teórica del Proyecto Manhattan), el problema ético de crear la bomba atómica vibra en todo su esplendor. No es un tema trivial. Glauber explica que muchos de los científicos que trabajaron en Los Álamos defendían que la bomba fuese demostrada en Japón sin causar ninguna víctima. Estos científicos, incluido Oppenheimer, no tuvieron ni voz ni voto en la toma de la decisión final. Es cierto que todas aquellas mentes brillan-



tes trabajaron ávidamente para crear un arma mortífera, alimentados por el temor a que la Alemania nazi pudiera llegar a crear su propia bomba atómica. También es cierto que siguieron trabajando con empeño inusitado incluso después de la muerte de Hitler. La gran mayoría de aquellos científicos no reflexionó en el daño que su creación tecnológica iba a causar, los dominó la necesidad de mostrar al mundo su enorme capacidad intelectual. No fueron conscientes de que, una vez creada, la bomba dejaría de estar bajo su control. Personajes notables como Hans Bethe o Victor Weisskopf se convirtieron en luchadores empedernidos por la paz. Emplearon tanto esfuerzo en construir la bomba como, después, en que no fuera utilizada. De nuevo una lección ética: los humanos creamos instrumentos que superan el objetivo para el que han sido contruidos. Su uso escapa al control de la razón y de la ética.

He querido dar especial énfasis a este apartado porque la lección por aprender sigue en pie. Sinceramente, no creo que la humanidad haya tomado nota de lo que significa desarrollar una tecnología profunda disruptiva. Es probable que nuestros avances actuales en inteligencia artificial tengan terribles derivas. Si no somos educados en nuestros errores pasados, difícilmente actuaremos de forma sabia en el futuro.

## **Energía**

La evolución de las máquinas puede ser entendida como la mejora sistemática en la forma en que manejamos la energía que estas consumen. Cada nuevo instrumento aprovecha la energía de forma diferente, explota las leyes

de la física y de la química de una forma nueva, nos abre el camino a idear nuevas máquinas.

Volvamos una última vez al mono que blande un fémur en la película de Kubrick e intentemos analizar un golpe desde el punto de vista de la energía. ¿Por qué es tan letal pegar con un hueso? ¿Por qué es importante que el extremo del hueso sea más grande y pesado, como un martillo? La explicación requiere de un poquito de física. La energía que lleva una partícula en movimiento recibe el nombre de energía cinética. Cuando una partícula choca con una pared, libera toda la energía cinética que lleva. Esa energía cinética se calcula como el producto de la masa de la partícula por la velocidad al cuadrado, y todo se divide por 2. Lo importante es saber que la energía cinética que lleva la cabeza del hueso es mayor si su masa es grande y es mucho mayor si su velocidad aumenta. Al blandir el hueso, el hombre hace que este sea una extensión de su brazo. Cuando golpea, el punto de mayor velocidad es la epífisis del fémur. Esta parte es más pesada. Tenemos un arma, porque la punta del hueso libera una enorme cantidad de energía cinética en cada golpe.

Todo instrumento aprovecha un tipo de energía. En el caso de un martillo, el origen de la energía está en el propio hombre. Pero los humanos han aprendido a aprovechar la energía que nos da una corriente de agua, el viento, el calor geotérmico, las reacciones químicas, los fotones que vienen del sol y, también, el quemado de residuos fósiles que contaminan y esquilman la tierra.

El avance sigue y los humanos hemos aprendido a dominar la materia a nivel subatómico. Tenemos los conoci-

mientos de las leyes cuánticas que describen correctamente el átomo y el núcleo atómico. El control de la energía contenida en el átomo no es sencillo. Hemos logrado crear una bomba nuclear porque basta con iniciar una reacción de fisión en cadena. Es mucho más laborioso controlar esta reacción en forma de central nuclear. Podemos ir más lejos. Tenemos control teórico de las leyes de fusión (no fisión) nuclear. Dos iones de hidrógeno se fusionan en uno de helio, como sucede en el interior de las estrellas, y liberan una cantidad de energía tremenda. Este es el principio de la bomba H, o bomba de fusión. La mayor bomba explosionada por los humanos es la llamada bomba Tzar, que liberó cien millones de veces más energía que la bomba de Hiroshima. Los humanos todavía no hemos logrado controlar esta reacción en provecho pacífico de la sociedad.

<i>Máquinas</i>	<i>Origen de la energía</i>
Azada, martillo, espada	Humanos
Navegación a vela, molino de agua	Viento, agua en movimiento
Péndulo	Gravedad
Coche, motor, avión	Combustión química
Satélite, panel solar	Fotones procedentes del sol
Bombas de Hiroshima, central nuclear	Fisión nuclear
Bomba Tzar, central de fusión	Fusión nuclear

Esta es una lección que no hemos de olvidar. Los humanos han creado máquinas poderosas porque utilizan energía. Pero la energía no es gratis, debe proceder de algún lugar. Si todos conducimos, necesitamos ingentes cantida-

des de gasolina e inexorablemente consumimos las reservas de residuos fósiles que se hallan bajo tierra. Si una tribu nórdica quería protegerse del frío, quemaba madera y destruía los bosques. Si todos queremos tener mil máquinas que trabajen para cada uno nosotros, ¿de dónde conseguiremos la energía que consumirán?

Nos hallamos en una transición energética importante. El funcionamiento de las máquinas que hablan entre sí, incluyendo todo el internet de las cosas (IOT, *internet of things*), consume tanta energía como todos los humanos. Ahora ya no basta conseguir energía para calentarnos, para transportarnos o para comunicarnos. Necesitamos, además, alimentar a objetos que se comunican entre sí. Nuestro teléfono habla con una sede central para verificar el correo, sin intervención humana, habla de máquina a máquina y ambas consumen energía.

No es fácil hacer predicciones, pero me atrevo a defender dos ideas. Los humanos aumentaremos nuestro consumo energético de forma sustancial. Gastaremos más, mucho más. Necesitaremos energía para viajar más, para tener aires acondicionados y calefacciones, para alimentar a miles de máquinas por persona que nos asistirán. Devoraremos energía. Esta es la primera predicción. La segunda les va a chocar: resolveremos el problema de la energía. La tecnología progresará de forma imparable. Nuestros sensores se harán microscópicos y gastarán muchísimo menos, reciclaremos energía, aprovecharemos la enorme variedad de fuentes energéticas que nos ofrece nuestro entorno. Habrá coches sin conductor más eficientes, compartiremos recursos, usaremos energía solar, eólica, mareas y todo lo que sea necesario. Nos reproduciremos me-

nos. La tecnología irá superando los escollos de la política e instaurará sus soluciones, de la misma forma que lo ha hecho en nuestras comunicaciones, en eliminar el dolor físico o en entretenernos. La energía no será el problema de los humanos. El problema real —creo— será ético. Nos angustiará saber a quién amamos, quién nos ama, por qué vivimos, qué sentido tiene todo. Pero no me tomen muy en serio. Toda predicción está condenada al error y esta, posiblemente, no será una excepción.

### ***Altius, citius, fortius***

Todas las máquinas de las que hemos hablado hasta ahora tienen un nexo común: aprovechan fuentes de energía para realizar un trabajo físico. Cumplen con la locución latina *altius, citius, fortius* (más alto, más rápido, más fuerte). El molino, el martillo, la bomba, todo se reduce a dotar al hombre de energía más allá de sus capacidades o con perseverancia, como un reloj. Son instrumentos que nos aumentan en nuestras limitaciones físicas. Son máquinas sin alma, son fuerza bruta.

Estas máquinas nos han sido muy útiles, nos han permitido crear coches y transportarnos, nos han dotado de comodidad física, han aliviado nuestras vidas. Pero estas máquinas nunca han sustituido las funciones superiores del cerebro. No hablan con nosotros, no realizan cálculos complejos, no hacen predicciones afinadas, no toman acciones autónomas. Están muy lejos de alterar el concepto de ética. Si los humanos lanzaron la bomba atómica Little Boy sobre Hiroshima, el dilema ético estuvo en los cerebros de los científicos que concibieron el arma, de las per-

sonas que dieron la orden, en el coronel Paul Warfield Tibbets (piloto del avión *Enola Gay*) que escogió el preciso momento en el que dio la orden para activar un resorte letal. La responsabilidad de nuestros actos no se transfiere a los objetos inanimados.

La ética sigue en manos de los humanos, de momento.

Fuerza bruta ejercida por máquinas sin alma, así es la historia de los instrumentos que los humanos han creado hasta el siglo xx. Pero la historia de las máquinas ha tomado un giro inesperado. Las máquinas han aprendido a calcular.